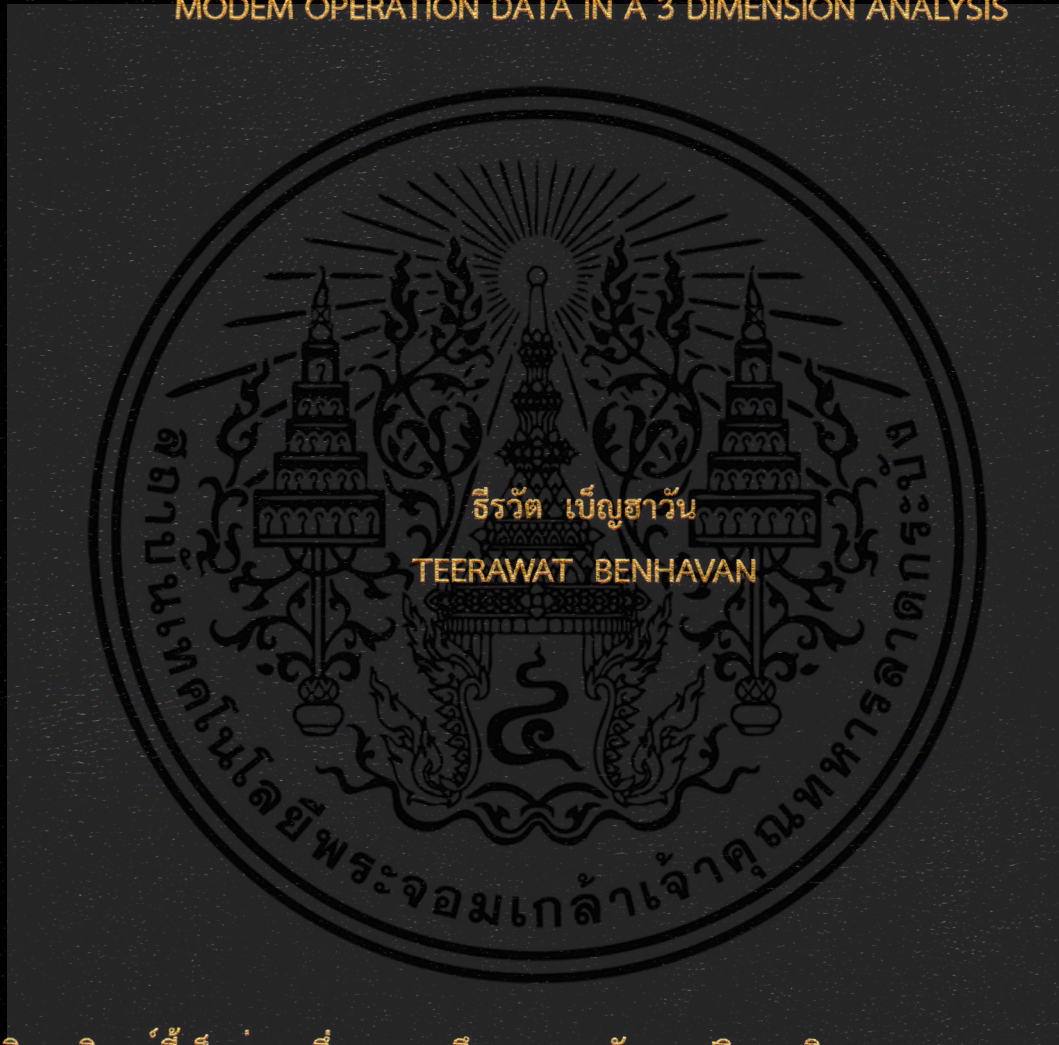


ระบบตรวจสอบประสิทธิภาพของเครือข่ายเฮชเอฟซี โดยใช้ข้อมูลการดำเนินการ
ของเคเบิลโมเด็มตามมาตรฐาน DOCSIS ในการวิเคราะห์แบบ 3 มิติ

HFC NETWORK PERFORMANCE MONITORING SYSTEM USING DOCSIS CABLE
MODEM OPERATION DATA IN A 3 DIMENSION ANALYSIS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2559

KMITL-2016-EN-M-010-009

ระบบตรวจสอบประสิทธิภาพของเครือข่ายเฮชเอฟซี โดยใช้ข้อมูลการดำเนินการ
ของเคเบิลโมเด็มตามมาตรฐาน DOCSIS ในการวิเคราะห์แบบ 3 มิติ

HFC NETWORK PERFORMANCE MONITORING SYSTEM USING DOCSIS CABLE
MODEM OPERATION DATA IN A 3 DIMENSION ANALYSIS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2559
KMITL-2016-EN-M-010-009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HFC NETWORK PERFORMANCE MONITORING SYSTEM USING DOCSIS CABLE
MODEM OPERATION DATA IN A 3 DIMENSION ANALYSIS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016
KMITL-2016-EN-M-010-009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบตรวจสอบประสิทธิภาพของเครือข่ายเฮชเอฟซี โดยใช้ข้อมูลการดำเนินการ
ของเคเบิลโมเด็มตามมาตรฐาน DOCSIS ในการวิเคราะห์แบบ 3 มิติ
Thesis Title HFC Network Performance Monitoring System using DOCSIS Cable Modem
Operation Data in a 3 Dimension Analysis
นักศึกษา นายธีรวัต เบ็ญฮาวัน
รหัสประจำตัว 56601270
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ไกรสิน ส่งวัฒนา
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-M-010-009

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สุวิพล	สิทธิชีวภาค
ผศ.ดร.สุทธิชัย	นพนาศิพงษ์
ศ.ดร.ประยุทธ์	อัครเอกฉมาลิน
ผศ.ดร.พิชญ	สุพรรณกุล
รศ.ดร.ไกรสิน	ส่งวัฒนา

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 15 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 เวลา 13.00-15.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
โดยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วันที่ 15 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบตรวจสอบประสิทธิภาพของเครือข่ายเฮชเอฟซี โดยใช้ข้อมูลการดำเนินการของเคเบิลโมเด็มตามมาตรฐาน DOCSIS ในการวิเคราะห์แบบ 3 มิติ
นักศึกษา	นายธีรวัต เบ็ญฮาวัน
รหัสประจำตัว	56601270
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. ไกรสิน ส่องวัฒนา

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอระบบตรวจสอบประสิทธิภาพของเครือข่ายเฮชเอฟซี (HFC: Hybrid Fiber Coaxial network) ที่เป็นไปตามมาตรฐานของด็อกซีส (DOCSIS: Data Over Cable Service Interface Specifications) โดยทำการเก็บรวบรวม ค่าพารามิเตอร์ที่เกิดขึ้นในเส้นทางส่งผ่านและเส้นทางส่งกลับ ในช่วงเวลาหนึ่ง จากระบบปลายทางของเคเบิลโมเด็มหรือซีเอ็มทีเอส (CMTS: Cable Modem Termination System) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สื่อสารกับเคเบิลโมเด็ม และใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้ในการออกแบบตัวชี้วัดเครือข่ายและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครือข่าย ในรูปแบบของกราฟ 3 มิติ

ผลที่ได้จากระบบตรวจสอบประสิทธิภาพ คือแผนภาพ 3 มิติ ซึ่งสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครือข่ายเฮชเอฟซี ทั้งในด้านของความสมดุลของกำลังสัญญาณดาวนสตรีมและอัปสตรีม เพื่อให้เป็นไปตามเกณฑ์ของเครือข่ายที่กำหนด รวมถึงการบ่งชี้ถึงเครือข่ายที่ได้รับผลกระทบจากการเข้ามาของสัญญาณรบกวน โดยค่าตัวชี้วัดที่ได้รับจากแต่ละส่วนในพื้นที่ของแผนภาพ 3 มิติ จะแสดงให้เห็นถึงสถานะของเครือข่าย ลักษณะสภาพการทำงานของเครือข่าย โดยผลที่ได้จากระบบตรวจสอบประสิทธิภาพ สามารถนำมาใช้เป็นดัชนีชี้วัดผลการดำเนินงานของเครือข่ายเฮชเอฟซีจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Thesis Title	HFC Network Performance Monitoring System using DOCSIS Cable Modem operation data in a 3 dimension analysis
Student	Mr.Teerawat Benhavan
Student ID.	56601270
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2016
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Kraisin Songwatana

ABSTRACT

This thesis proposes the HFC network performance monitoring system following DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specifications) standard. The parameters in the forward path and return path are collected from CMTS (Cable Modem Termination System) equipment which communicate with the cable modem and used to analyze the network performance in a 3-dimensional graph.

The result provides a 3-D diagram which is a tool to analyse the network performance based on network criteria. The parameters obtained from each block in 3D space represents the state of the network. It shows the symptom that the network is suffering. The resulting measures can be used as key performance indices for the HFC network.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ไกรสิน ส่องวัฒนา ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ บริษัททรู คอร์ปอเรชั่น จำกัด (ทรูออนไลน์) ผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตและบรอดแบนด์อินเทอร์เน็ตรายใหญ่ที่สุดของประเทศไทย ที่ให้การสนับสนุนการวิจัย จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ธีรวัต เบ็ญฮาวัน



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการทำวิจัย	2
1.3 สมมติฐานในการทำวิจัย	2
1.4 ทฤษฎีและแนวคิดในการทำวิจัย	2
1.5 ขอบเขตของการทำวิจัย	3
1.6 ขั้นตอนในการทำวิจัย	3
1.7 โครงประกอบของการทำวิทยานิพนธ์	3
บทที่ 2 สถาปัตยกรรมของเครือข่าย DOCSIS เคเบิลโมเด็ม	4
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 เป้าหมายการให้บริการบนเครือข่าย DOCSIS	4
2.3 สถาปัตยกรรมและระบบของเครือข่าย DOCSIS	6
2.3.1 สถาปัตยกรรมของ CMTS	7
2.3.2 สถาปัตยกรรมของเครือข่ายเคเบิลโมเด็มแบบ HFC	9
2.3.3 สถาปัตยกรรมของเคเบิลโมเด็ม	17
2.4 สรุป	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ช่องสัญญาณอพสตรีมและดาวนสตรีม	21
3.1 กล่าวนำ	21
3.2 ช่องสัญญาณขาขึ้นและขาลง	21
3.3 การสื่อสารในเส้นใยแก้วนำแสง.....	23
3.4 ความกว้างของช่องสัญญาณ	27
3.4 อัตราการรับ-ส่งข้อมูล	29
3.5 สรุป	31
บทที่ 4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยและการออกแบบตัวชี้วัดเครือข่าย.....	32
4.1 กล่าวนำ	32
4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบตัวชี้วัดเครือข่าย	32
4.2.1 กำลังส่งดาวนสตรีม	33
4.2.2 กำลังส่งอพสตรีม	33
4.2.3 อัตราส่วนกำลังส่งอพสตรีมต่อสัญญาณรบกวน	34
4.3 การออกแบบตัวชี้วัดเครือข่าย	35
4.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการให้บริการเคเบิลโมเด็มผ่านเครือข่ายเฮชเอฟซี	37
4.4.1 โซน A และพื้นที่ A1 ถึง A9	38
4.4.2 โซน B	40
4.5 กาวัดคุณภาพการให้บริการเคเบิลโมเด็มด้วยตัวชี้วัดเครือข่าย	41
4.6 สรุป.....	42
บทที่ 5 การวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์	43
5.1 กล่าวนำ	43
5.2 กระบวนการเก็บรวบรวมพารามิเตอร์และการคำนวณตัวชี้วัด	43
5.2.1 กระบวนการเก็บรวบรวมพารามิเตอร์	43
5.2.2 กระบวนการคำนวณตัวชี้วัดเครือข่ายเฮชเอฟซี.....	45
5.3 กระบวนการวิเคราะห์คุณภาพเครือข่ายเฮชเอฟซี	46
5.3.1 การวิเคราะห์ด้านสัญญาณรบกวน	58
5.3.2 การวิเคราะห์ด้านความสมดุลของกำลังส่ง	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.4 สรุป	64
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	65
6.1 สรุปผลการวิเคราะห์	65
6.2 ข้อเสนอแนะ	65
บรรณานุกรม	66
ภาคผนวก	67
ประวัติผู้วิจัย	74



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 อัตราการส่งสัญญาณดาว์นสตรีม ที่ความกว้างของช่องสัญญาณ 6 และ 8 MHz	29
3.2 อัตราการส่งสัญญาณอัปสตรีม ที่ความกว้างของช่องสัญญาณ 3.2 และ 6.4 MHz	30
4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ออกแบบตัวชี้วัดเครือข่าย ภายใต้เครือข่ายที่ศึกษา	33
5.1 ตัวอย่างพารามิเตอร์ทั้ง 3 ค่าจากออปติคอลโหนด BGC004N02L5	44
5.2 การพิจารณาคุณภาพของเครือข่ายเฮชเอฟซี ของพื้นที่บางชั้น ในระดับชุมสายย่อย.....	47
5.3 ตัวชี้วัดเครือข่ายในพื้นที่บางชั้นย่อยที่ 4 (BGC04) ในระดับออปติคอลโหนด	58
5.4 ค่าพารามิเตอร์กำลังส่งอัปสตรีมของเคเบิลโมเด็มในพื้นที่ A4 ภายในออปติคอลโหนด BGC004N07L1	62



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การส่งผ่านข้อมูลและการแลกเปลี่ยน IP ผ่านระบบการส่งข้อมูลบนสายเคเบิล	5
2.2 โครงสร้างของเครือข่าย DOCSIS เคเบิลโมเด็ม	6
2.3 รูปแบบการเชื่อมต่อของ CMTS ชนิด Integrated	8
2.4 รูปแบบการเชื่อมต่อของ CMTS ชนิด Modular	8
2.5 สถาปัตยกรรมของเครือข่ายเคเบิลโมเด็มแบบ HFC	9
2.6 โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง (Optical fiber)	10
2.7 การส่งสัญญาณในเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว	11
2.8 การส่งสัญญาณในเส้นใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมด	11
2.9 อุปกรณ์อปติคัลโหนด / สัญลักษณ์	12
2.10 สายโคแอกเชียลเคเบิล ชนิด PII-500	13
2.11 สายโคแอกเชียลเคเบิล ชนิด RG-6	13
2.12 อุปกรณ์ขยายสัญญาณแบบหลายทาง / สัญลักษณ์	14
2.13 อุปกรณ์ขยายสัญญาณแบบทางเดียว / สัญลักษณ์	14
2.14 สัญลักษณ์ / อุปกรณ์จ่ายไฟ (Power Supply: PS)	15
2.15 สัญลักษณ์ / อุปกรณ์ป้อนไฟฟ้า (Power Inserter)	15
2.16 สัญลักษณ์ / ตัวแยกสัญญาณ (Splitter)	16
2.17 สัญลักษณ์ / ตัวแยกสัญญาณทิศทาง (Directional Couple: DC)	16
2.18 สัญลักษณ์ / ตัวแยกสัญญาณแท็ปออฟ (Tap-off)	17
2.19 การเชื่อมโยงส่วนประกอบต่างๆภายในเคเบิลโมเด็ม	18
3.1 การสื่อสารแบบ 2 ทิศทางในเครือข่าย HFC	22
3.2 การจัดสรรแบนด์วิดท์สำหรับเครือข่ายเคเบิลโมเด็มแบบ HFC	22
3.3 ย่านความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารสัญญาณแสง	24
3.4 การลดทอนของสัญญาณแสงในย่านความถี่อินฟราเรด (Infrared)	25
3.5 การสื่อสารแบบ 2 ทิศทางในการให้บริการเคเบิลโมเด็มผ่านเครือข่าย HFC	25
3.6 เทคโนโลยี Dense Wavelength-Division Multiplexing (DWDM)	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.7 มาตรฐานการเผยแพร่สัญญาณภาพโทรทัศน์ที่ใช้ในแต่ละประเทศ	28
3.8 อัตราการส่งสัญญาณอัดสแตมที่ความกว้างช่องสัญญาณและเทคนิคมอดูเลชันต่างๆ	30
4.1 การสื่อสารแบบสองทิศทางในเครือข่ายเฮชเอฟซี (HFC network)	32
4.2 แผนภาพ 3 มิติ ที่ประกอบขึ้นจากพารามิเตอร์ที่สำคัญ 3 พารามิเตอร์	35
4.3 ภาพ 4.2 บนระนาบ 2 มิติ ระหว่างกำลังส่งดาวนสตรีม และกำลังส่งอัดสแตม	36
4.4 ภาพ 4.2 บนระนาบ 2 มิติ ระหว่างกำลังส่งอัดสแตม และอัตราส่วนสัญญาณส่งอัดสแตมต่อสัญญาณรบกวน	36
4.5 การแบ่งพื้นที่โดยใช้อัตราส่วนสัญญาณอัดสแตมต่อสัญญาณรบกวน	37
4.6 แผนภาพพื้นที่ A1 ถึง A9 ภายในโซน A	38
4.7 แผนภาพโซน B ซึ่งเคเบิลโมเด็มมีค่า US-SNR น้อยกว่าหรือเท่ากับ 30 dB	40
4.8 แผนภาพจำนวนเคเบิลโมเด็มในโซน A และ B ในหนึ่งอปติคัลโหนด	41
5.1 การเก็บรวบรวมค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ค่า จากแต่ละพื้นที่ให้บริการ	43
5.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากเคเบิลโมเด็มลงในระนาบ 2 มิติ	45
5.3 ลำดับการวิเคราะห์คุณภาพของเครือข่ายเฮชเอฟซี	46
5.4 ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของเคเบิลโมเด็มในอปติคัลโหนด BGC004 Node 1	48
5.5 พิจารณาตัวชี้วัดเครือข่าย A5 และ B ของอปติคัลโหนด BGC004 Node 1	48
5.6 ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของเคเบิลโมเด็มในอปติคัลโหนด BGC004 Node 2	49
5.7 พิจารณาตัวชี้วัดเครือข่าย A5 และ B ของอปติคัลโหนด BGC004 Node 2	49
5.8 ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของเคเบิลโมเด็มในอปติคัลโหนด BGC004 Node 3	50
5.9 พิจารณาตัวชี้วัดเครือข่าย A5 และ B ของอปติคัลโหนด BGC004 Node 3	50
5.10 ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของเคเบิลโมเด็มในอปติคัลโหนด BGC004 Node 4	51
5.11 พิจารณาตัวชี้วัดเครือข่าย A5 และ B ของอปติคัลโหนด BGC004 Node 4	51
5.12 ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของเคเบิลโมเด็มในอปติคัลโหนด BGC004 Node 5	52
5.13 พิจารณาตัวชี้วัดเครือข่าย A5 และ B ของอปติคัลโหนด BGC004 Node 5	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.14 ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของเคเบิลโมเด็มในออปติคัลโหนด BGC004 Node 6	53
5.15 พิจารณาตัวชี้วัดเครือข่าย A5 และ B ของออปติคัลโหนด BGC004 Node 6	53
5.16 ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของเคเบิลโมเด็มในออปติคัลโหนด BGC004 Node 7	54
5.17 พิจารณาตัวชี้วัดเครือข่าย A5 และ B ของออปติคัลโหนด BGC004 Node 7	54
5.18 ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของเคเบิลโมเด็มในออปติคัลโหนด BGC004 Node 8	55
5.19 พิจารณาตัวชี้วัดเครือข่าย A5 และ B ของออปติคัลโหนด BGC004 Node 8	55
5.20 ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของเคเบิลโมเด็มในออปติคัลโหนด BGC004 Node 9	56
5.21 พิจารณาตัวชี้วัดเครือข่าย A5 และ B ของออปติคัลโหนด BGC004 Node 9	56
5.22 ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของเคเบิลโมเด็มในออปติคัลโหนด BGC004 Node 10	57
5.23 พิจารณาตัวชี้วัดเครือข่าย A5 และ B ของออปติคัลโหนด BGC004 Node 10	57
5.24 เปรียบเทียบอัตราส่วนสัญญาณส่งอัดสตรึมต่อสัญญาณรบกวนของ BGC004N02L5	59
5.25 เปรียบเทียบจำนวนเคเบิลโมเด็มในโซน B ของ BGC004N02L5	59
5.26 เปรียบเทียบจำนวนเคเบิลโมเด็มในโซน A ของ BGC004N02L5	60
5.27 พิจารณาความสมดุลด้านกำลังส่งของออปติคัลโหนด BGC004 Node 7	61
5.28 เครือข่ายเฮชเอฟซีในส่วนของเคเบิลโมเด็มมีค่าสัญญาณอัดสตรึมอยู่ในพื้นที่ A4	62
5.29 เปรียบเทียบตัวชี้วัดเครือข่าย A5 ของออปติคัลโหนด BGC004N07L1	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการสื่อสารข้อมูลได้มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก ไม่จำกัดเฉพาะในหน่วยงานราชการและเอกชนเท่านั้น แต่ได้ขยายตัวเข้าสู่ประชาชนเกือบทุกระดับ ดังจะเห็นได้จากการขยายตัวของเทคโนโลยีสารสนเทศที่ต้องการให้บริการสื่อสารข้อมูลทุกรูปแบบ ดังนั้นผู้ให้บริการเครือข่ายอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง จึงให้ความสำคัญในเรื่องของคุณภาพการให้บริการและความน่าเชื่อถือในการดำเนินงานของเครือข่ายเป็นอย่างมาก เมื่อความต้องการใช้งานข้อมูล อาทิ บริการอินเทอร์เน็ต, อีเมล, เสียง/โทรศัพท์ บริการการประชุมสัมมนาทางโทรทัศน์ (Video conference) และการให้บริการวิดีโอตามความต้องการ (Video-on-demand) มีการเจริญเติบโตมากขึ้น ส่งผลให้ความต้องการใช้งานช่องสัญญาณหรือแบนด์วิดท์ (Bandwidth) เพิ่มสูงขึ้น เทคโนโลยีการให้บริการเคเบิลโมเด็ม (Cable Modem) จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการให้บริการอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง (High-Speed Internet)

ระบบเครือข่ายเคเบิลโมเด็มได้ถูกพัฒนามาจากหลายๆเทคโนโลยี การที่เครือข่ายเคเบิลโมเด็มจะอยู่ในตลาดได้จำเป็นต้องมีมาตรฐานสำหรับเคเบิลโมเด็มและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้งานภายในเครือข่าย เพื่อเป็นแนวทางให้บริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์เคเบิลโมเด็มหลากหลายบริษัท ได้ผลิตอุปกรณ์ที่สามารถทำงานร่วมกันได้ ดังนั้นบริษัทผู้ให้บริการเคเบิลโทรทัศน์ในอเมริกาจึงได้ร่วมมือกันร่างมาตรฐานขึ้น โดยตั้งชื่อว่าระบบเครือข่ายเคเบิลมัลติมีเดีย (Multimedia Cable Network System: MCNS) มาตรฐานแรกๆที่ประกาศใช้คือ DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification) ซึ่งเป็นข้อกำหนดที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเคเบิลโมเด็ม (*de facto standard*) ที่กำหนดขึ้นโดยบริษัทต่างๆ และองค์กร CableLabs

การให้บริการเคเบิลโมเด็ม จะให้บริการผ่านเครือข่ายใยแก้วนำแสงผสมเคเบิลแกนร่วมหรือเครือข่ายเฮอริบรีดไฟเบอร์โคแอกเชียล (Hybrid Fiber Coaxial network: HFC network) ซึ่งเป็นเครือข่ายที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากเครือข่ายเฮอริบรีดไฟเบอร์โคแอกเชียลเป็นเครือข่ายที่มีปริมาณความจุของช่องสัญญาณและระดับการส่งผ่านข้อมูลที่สูง มีความเป็นเชิงเส้นซึ่งเหมาะแก่การให้บริการข้อมูล โดยเมื่อพิจารณาถึงความต้องการใช้งานข้อมูลผ่านเครือข่ายเฮอริบรีดไฟเบอร์โคแอกเชียลที่เพิ่มขึ้นแล้ว คุณภาพของเครือข่ายเฮอริบรีดไฟเบอร์โคแอกเชียลจึงเป็นสิ่งสำคัญ

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการทำวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อทำการศึกษาคุณภาพของเครือข่ายเฮชเอฟซี ที่ใช้ในการให้บริการ อินเทอร์เน็ตความเร็วสูง ผ่านเทคโนโลยีเคเบิลโมเด็ม ที่เป็นไปตามมาตรฐาน DOCSIS และนำเสนอแนวทางในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการให้บริการของเครือข่ายเฮชเอฟซีจริง ในรูปแบบของแผนภาพ 3 มิติ โดยใช้ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่สำคัญจำนวน 3 ค่า ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อมีการสื่อสารข้อมูล ระหว่าง ระบบจัดการการสื่อสารให้เคเบิลโมเด็มหรือซีเอ็มทีเอส (Cable Modem Termination System: CMTS) กับอุปกรณ์เคเบิลโมเด็ม (Cable Modem) โดยพารามิเตอร์ทั้ง 3 ค่า ประกอบด้วย กำลังส่งดาวนสตรีม (Downstream Power), กำลังส่งอัปสตรีม (Upstream Power) และค่าอัตราส่วน สัญญาณส่งอัปสตรีมต่อสัญญาณรบกวน (Upstream Signal to Noise Ratio: US-SNR) ค่าพารามิเตอร์ ทั้ง 3 ค่า จะถูกพล็อตลงในแผนภาพ 3 มิติ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครือข่ายเฮชเอฟซีในแต่ละพื้นที่ที่ให้บริการ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ดังกล่าว จะเป็นประโยชน์อย่างมากในการตรวจสอบ, ปรับปรุง และทำการบำรุงรักษาเครือข่ายเฮชเอฟซีในเชิงรุกต่อไป

1.3 สมมุติฐานในการทำวิจัย

สมมุติฐานในการทำวิจัยตั้งอยู่บนความเป็นจริงในการให้บริการเคเบิลโมเด็มผ่านเครือข่ายเฮชเอฟซี ซึ่งในสภาพที่เป็นจริง มีปัจจัยหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของเครือข่าย เช่น ความไม่สมดุลของระดับกำลังสัญญาณทั้งสัญญาณดาวนสตรีมและสัญญาณอัปสตรีม รวมทั้งการเชื่อมต่อที่ไม่ได้มาตรฐานซึ่งทำให้เกิดการรั่วของเครือข่ายเฮชเอฟซี ส่งผลให้สัญญาณรบกวนหรือสัญญาณที่ไม่ต้องการจากภายนอกแทรกสอดเข้ามาภายในเครือข่ายได้ และส่งผลกระทบต่อคุณภาพการให้บริการ

ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้นำรูปแบบของข้อมูลที่ได้จากการสื่อสาร มาทำการวิเคราะห์ในรูปแบบแผนภาพ 3 มิติ ซึ่งช่วยในการระบุสาเหตุที่ก่อให้เกิดผลกระทบในการให้บริการเคเบิลโมเด็มผ่านเครือข่ายเฮชเอฟซี

1.4 ทฤษฎีและแนวคิดในการทำวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้แนวทางการวิเคราะห์คุณภาพการให้บริการเคเบิลโมเด็มผ่านเครือข่ายเฮชเอฟซี โดยใช้พารามิเตอร์ 3 พารามิเตอร์ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการสื่อสารข้อมูล มาทำการวิเคราะห์คุณภาพของเครือข่ายในแง่ของความสมดุลของกำลังส่งสัญญาณดาวนสตรีมและสัญญาณอัปสตรีม รวมทั้งทำการวิเคราะห์ระดับสัญญาณรบกวนที่เข้ามาภายในเครือข่ายเฮชเอฟซี ผ่านช่องสัญญาณอัปสตรีม (Upstream channel) โดยกำหนดให้ระบบการสื่อสารข้อมูลเป็นไปตามมาตรฐาน DOCSIS

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอกระบวนการในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครือข่ายเฮชเอฟซีจริง ซึ่งใช้ในการให้บริการเคเบิลโมเด็ม และนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครือข่าย ซึ่งได้แก่ ความสมดุลของกำลังส่งสัญญาณ (Signal power balancing) และ สัญญาณรบกวน (Noise) ที่เข้ามาภายในเครือข่าย ไปใช้ในการปรับปรุงเครือข่ายเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการให้บริการเคเบิลโมเด็มที่ดีขึ้น

1.6 ขั้นตอนในการทำวิจัย

การทำวิจัยเริ่มต้นจากการเก็บรวบรวมค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญทั้ง 3 ค่า ได้แก่ กำลังส่งดาวนสตรีม (Downstream power), กำลังส่งอัพสตรีม (Upstream power) และอัตราส่วนกำลังส่งอัพสตรีมต่อสัญญาณรบกวน (Upstream Signal-to-Noise ration) ในแต่ละช่วงเวลา โดยค่าสัญญาณที่ได้จะถูกบันทึกไว้ในฐานข้อมูลของผู้ให้บริการเคเบิลโมเด็ม และถูกนำมาวิเคราะห์ในรูปแบบแผนภาพ 3 มิติ ซึ่งแสดงคุณภาพการให้บริการเคเบิลโมเด็มในช่วงเวลานั้น โดยจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนที่หนึ่งเป็นการวิเคราะห์ปริมาณสัญญาณรบกวนที่เข้ามาภายในโครงข่ายเฮชเอฟซี และส่วนที่สองเป็นการวิเคราะห์ความสมดุลของกำลังส่งของสัญญาณอัพสตรีมและดาวนสตรีมที่เหมาะสม, การบาลานซ์อุปกรณ์ขยายสัญญาณ และระยะของสายเคเบิล (Drop wire cable) ที่เชื่อมต่อไปยังเคเบิลโมเด็มซึ่งอยู่ภายในที่พักอาศัยของผู้ใช้บริการ

1.7 โครงประกอบของวิทยานิพนธ์

- วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บท โดย
- บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมุติฐานและทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนในการทำวิจัย
 - บทที่ 2 กล่าวถึงเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงบนเครือข่ายเคเบิลโมเด็มแบบเฮชเอฟซี สถาปัตยกรรมของเครือข่ายเฮชเอฟซี และโครงสร้างขององค์ประกอบต่างๆภายในเครือข่าย
 - บทที่ 3 กล่าวถึงช่องสัญญาณที่ใช้ในการให้บริการเคเบิลโมเด็ม อัตราการส่งข้อมูล และเทคนิคที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน DOCSIS
 - บทที่ 4 กล่าวถึงกระบวนการและขั้นตอนที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการให้บริการเคเบิลโมเด็มผ่านเครือข่ายเฮชเอฟซี
 - บทที่ 5 กล่าวถึงการวิเคราะห์และผลที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพของเครือข่ายเฮชเอฟซี
 - บทที่ 6 กล่าวถึงบทสรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

สถาปัตยกรรมของเครือข่าย DOCSIS เคเบิลโมเด็ม

ในบทนี้จะกล่าวถึงพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการให้บริการเคเบิลโมเด็มผ่านเครือข่ายเฮชเอฟซี (HFC Network) ตามมาตรฐานของ DOCSIS ซึ่งประกอบไปด้วยองค์ประกอบของเครือข่าย DOCSIS อาทิ ระบบปลายทางของเคเบิลโมเด็ม (Cable Modem Termination System: CMTS) สถาปัตยกรรมของเครือข่ายเฮชเอฟซี และโครงสร้างของเคเบิลโมเด็ม

2.1 กล่าวนำ

เครือข่ายเคเบิลโมเด็มแบบเฮชเอฟซี เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนาโครงสร้างหลักในการส่งสัญญาณต่อจากเครือข่ายเคเบิลทีวีแบบดั้งเดิม (CATV) โดยการนำสายนำสัญญาณใยแก้วนำแสง (optical fiber) มาใช้งานร่วมกับสายโคแอกเซียลเคเบิล (coaxial cable) ทำให้ได้ระยะทางและคุณภาพในการส่งสัญญาณของระบบที่ดีขึ้นกว่าเดิม อีกทั้งยังมีการกำหนดให้สามารถส่งสัญญาณย้อนกลับไปยังสถานีหลัก (Head-End) ทำให้สามารถสื่อสารได้ใน 2 ทิศทาง อันจะนำมาซึ่งการให้บริการข้อมูลความเร็วสูงบนระบบเคเบิลโมเด็มชนิดนี้

ระบบเครือข่ายเคเบิลโมเด็มได้ถูกพัฒนามาจากหลายๆ เทคโนโลยี การที่เครือข่ายเคเบิลโมเด็มจะอยู่ในตลาดได้จำเป็นต้องมีมาตรฐานสำหรับเคเบิลโมเด็ม เพื่อเป็นแนวทางให้บริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์เคเบิลโมเด็มหลากหลายบริษัท ได้ผลิตอุปกรณ์ที่สามารถทำงานร่วมกันได้ ดังนั้นบริษัทผู้ให้บริการเคเบิลโทรทัศน์ในอเมริกาจึงได้ร่วมมือกันร่างมาตรฐานขึ้น โดยตั้งชื่อว่าระบบเครือข่ายเคเบิลมัลติมีเดีย (Multimedia Cable Network System: MCNS) มาตรฐานแรกที่ประกาศใช้คือ DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification) ซึ่งเป็นข้อกำหนดที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเคเบิลโมเด็ม (*de facto standard*) ที่กำหนดขึ้นโดยบริษัทต่างๆ และ CableLabs

2.2 เป้าหมายการให้บริการบนเครือข่าย DOCSIS

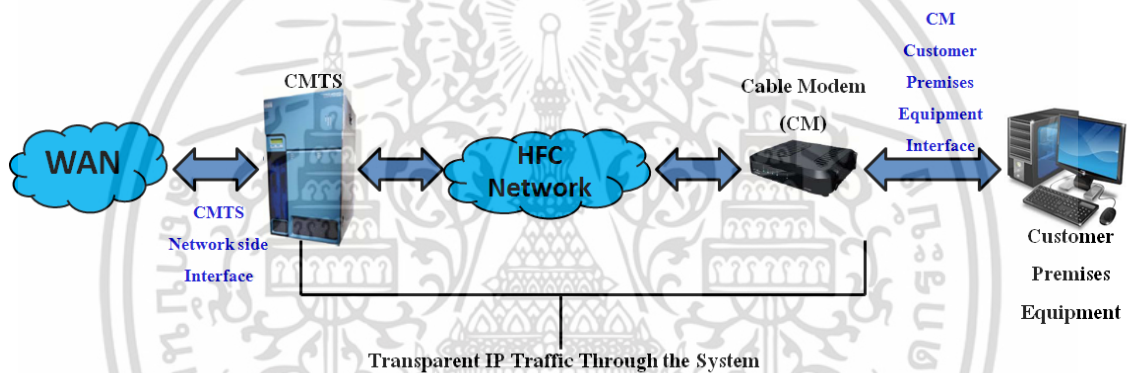
ตั้งที่ผู้ให้บริการสายเคเบิลได้ให้ความสนใจในการพัฒนาระบบการสื่อสารกลุ่มข้อมูลพื้นฐานความเร็วสูง (Hi-speed Packet-based) บนระบบเคเบิลทีวีแบบดั้งเดิม ซึ่งเป็นการให้บริการที่มีสมรรถภาพในการรองรับความหลากหลายอย่างกว้างขวาง การให้บริการภายใต้การพิจารณาของผู้ให้บริการเคเบิลโมเด็มประกอบด้วย การให้บริการในการส่งกลุ่มข้อมูลผ่านระบบโทรศัพท์ (Packet Telephony Service) การให้บริการการประชุมสัมมนาผ่านสัญญาณภาพ (Video Conferencing Service) การให้บริการที่เทียบเท่ากับมาตรฐานการให้บริการโทรศัพท์ไอเอสดีเอ็น (ISDN) 24 คู่สาย/การบริการบนระบบสวิตช์กลุ่มข้อมูลสาธารณะ (Packet-switched) ชนิดที่มีการกำหนดการเชื่อมต่อไว้ล่วงหน้า (T1/Frame Relay Equivalent Service) และบริการอื่นๆอีกมากมาย ซึ่งทำให้ความต้องการแบนด์วิดธ์มีมากขึ้น บริษัทที่เป็นสมาชิกของ CableLabs ได้อธิบายถึงการเตรียมลักษณะเฉพาะในการเชื่อมต่อ ซึ่งอนุญาตให้มีการกำหนดขอบเขตในการออกแบบ การพัฒนาและการขยายระบบการส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านสายเคเบิลบนพื้นฐานเดียวกัน ไม่ขัดแย้งกัน เปิดกว้าง โดยผู้ให้บริการหลายรายสามารถให้บริการร่วมกันได้ และยังได้อธิบายถึงการเพิ่มลักษณะพิเศษใหม่ๆให้กับ DOCSIS เพื่อวัตถุประสงค์ในการ

- เพิ่มความจุของช่องสัญญาณ
- ยกระดับการรักษาความปลอดภัยของเครือข่าย
- ขยายความสามารถในการกำหนดเลขที่อยู่ (IP Address) ของอุปกรณ์ในเครือข่ายให้ชัดเจน และ
- ขยายแนวทางสำหรับเสนอการให้บริการใหม่ๆ

ระบบ DOCSIS จะยอมให้มีการส่งผ่านข้อมูลโดยการถ่ายโอนการแลกเปลี่ยนโปรโตคอลอินเทอร์เน็ต (Internet Protocol: IP) ได้ 2 ทิศทางระหว่างระบบเคเบิลด้านสถานีส่งสัญญาณ (Head-end) และบริเวณที่ตั้งของผู้ใช้บริการบนเครือข่ายสายแกนรวมทั้งหมด (All-coaxial) หรือเครือข่ายสายเคเบิลใยแก้วผสมแกนร่วม (Hybrid Fiber Coax: HFC) ซึ่งแสดงในรูปแบบที่เข้าใจได้ง่าย ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การส่งผ่านข้อมูลและการแลกเปลี่ยน IP ผ่านระบบการส่งข้อมูลบนสายเคเบิล

แนวทางปฏิบัติในการส่งสัญญาณบนระบบเคเบิลโมเด็มถูกทำให้เป็นจริงที่สถานีส่งสัญญาณโดย CMTS และที่บริเวณที่ตั้งของผู้ใช้บริการแต่ละรายโดยเคเบิลโมเด็ม (Cable Modem) ซึ่งที่สถานีส่งสัญญาณจะมีส่วนเชื่อมต่อไปยังระบบการส่งข้อมูลบนสายเคเบิลที่เรียกว่า ส่วนเชื่อมต่อทางด้านเครือข่าย CMTS (CMTS Network Side Interface: CMTS-NSI) ทางด้านผู้ให้บริการจะมีส่วนการเชื่อมต่อที่เรียกว่า ส่วนเชื่อมต่อเคเบิลโมเด็มไปยังอุปกรณ์อ้างอิงของลูกค้า (Cable-Modem-to-Customer-Premises-Equipment Interface: CMCI) วัตถุประสงค์คือเพื่อให้บริการถ่ายโอนแลกเปลี่ยน IP ระหว่างส่วนเชื่อมต่อเหล่านี้ได้โดยตรง รวมถึงไม่จำกัดกลุ่มข้อมูลสื่อสาร (Data Packet) ที่ส่งจากตัวส่งไปยังตัวรับ โดยไม่มีการตอบกลับ (Datagrams) โปรโตคอลที่ถูกใช้โดยเครื่องลูกข่ายเพื่อเรียนรู้ข้อมูลต่างๆของระบบเครือข่าย (Dynamic Host Configuration Protocol: DHCP) โปรโตคอลที่ถูกผนวกให้เป็นส่วนหนึ่งของ IP ซึ่งจะอนุญาตให้อุปกรณ์ค้นหาเส้นทางหรือเครื่องปลายทางที่สามารถสื่อสารกับเครื่องต้นทางได้ (Internet Control Message Protocol: ICMP) และตำแหน่งที่อยู่ของกลุ่ม IP (IP Group Addressing)

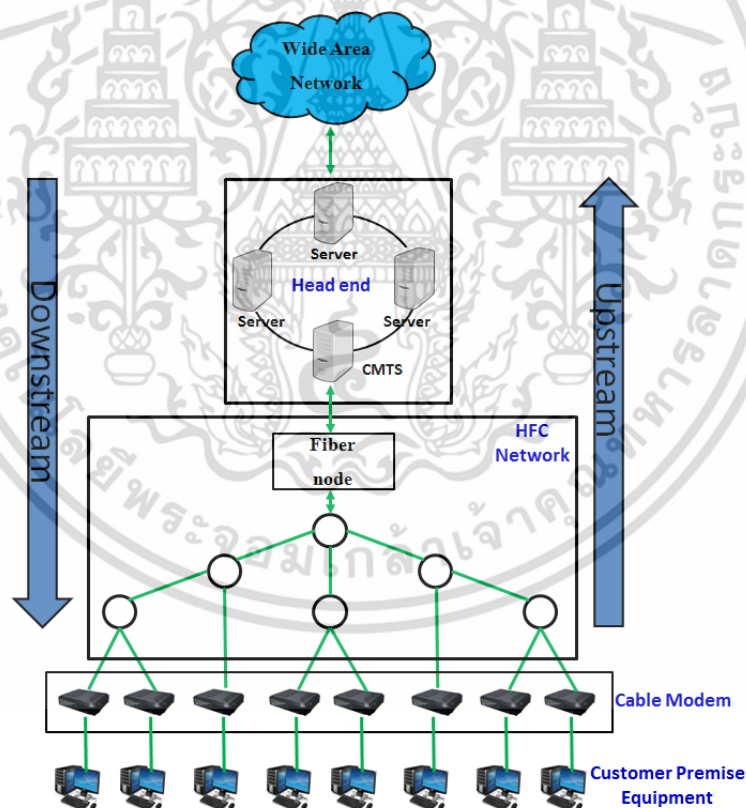
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 สถาปัตยกรรมและระบบของเครือข่าย DOCSIS

การให้บริการเคเบิลโมเด็มเต็มทำให้สามารถรับ - ส่งข้อมูลจำนวนมากๆได้ในเวลาอันรวดเร็ว ซึ่งความเร็วในการรับ - ส่งข้อมูลนั้นจะขึ้นอยู่กับผู้ให้บริการ ระบบที่ใช้ และสถาปัตยกรรมของเครือข่าย ซึ่งในสภาพความเป็นจริงแล้ว ความเร็วในการรับข้อมูลเข้ามา จะสูงกว่าความเร็วในการส่งข้อมูลออกไป แต่อย่างไรก็ตาม ความเร็วในการรับ - ส่งข้อมูลผ่านเคเบิลโมเด็มเต็มจะต้องถูกเฉลี่ยออกไปตามจำนวนของผู้เข้ามาใช้งานในเครือข่ายขณะนั้นด้วย เครือข่าย DOCSIS เคเบิลโมเด็มเต็มจะประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 องค์ประกอบ คือ

- CMTS ที่อยู่ทางด้านสถานีส่งสัญญาณ (Head-End)
- เครือข่ายเคเบิลใยแก้วนำแสงผสมแกนร่วม (HFC network) ซึ่งใช้รูปแบบเครือข่ายแบบ ต้นไม้และสาขา (Tree-and-Branch Topology)
- เคเบิลโมเด็มซึ่งอยู่ภายในบ้านของผู้ใช้บริการ

ในรูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของเครือข่าย DOCSIS เคเบิลโมเด็ม



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเครือข่าย DOCSIS เคเบิลโมเด็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 สถาปัตยกรรมของ CMTS (Cable Modem Termination System)

CMTS เป็นอุปกรณ์ที่เป็นระบบสวิตช์ ซึ่งทำหน้าที่จัดการข้อมูลจากสัญญาณทางไฟฟ้าของเครือข่าย DOCSIS ซึ่ง CMTS จะถูกติดตั้งอยู่ที่สถานีส่งสัญญาณ (Head-End) ของบริษัทผู้ให้บริการเคเบิลโมเด็ม สำหรับใช้จัดเตรียมการให้บริการรับ - ส่งข้อมูลความเร็วสูงไปยังเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และทำหน้าที่มัลติเพล็กซ์ข้อมูลจากอินเทอร์เน็ต เพื่อส่งไปยังผู้ใช้บริการแต่ละรายผ่านเครือข่าย HFC เช่น บริการอินเทอร์เน็ตผ่านสายเคเบิล, VoIP (Voice over IP) และใช้ในการแลกเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลระหว่างเครือข่าย WAN และเคเบิลโมเด็มบนเครือข่าย HFC โดยสัญญาณจะมีความกว้างของแบนด์วิดท์เท่ากับ 6 MHz หรือ 8 MHz ซึ่งมีพื้นที่เท่ากับแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณโทรทัศน์แต่ละช่อง

เพื่อเตรียมการให้บริการข้อมูลความเร็วสูงเหล่านี้ บริษัทผู้ให้บริการเคเบิลโมเด็ม จะต้องเชื่อมต่อสถานีส่งสัญญาณของบริษัทไปยังผู้ใช้บริการเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ส่วนทางด้านอุปกรณ์ CMTS จะทำหน้าที่เปิดทางให้ทำการสื่อสารกับเคเบิลโมเด็ม โดยที่ CMTS ที่แตกต่างกันจะมีความสามารถในการให้บริการเคเบิลโมเด็มที่แตกต่างกัน ซึ่งแบ่งแยกตามขนาดการวัดพัลส์จากเคเบิลโมเด็ม 4,000 ถึง 150,000 ตัว หรือมากกว่า

วิธีเดียวที่ทำให้คิดถึง CMTS คือการจินตนาการถึงเราท์เตอร์กับส่วนที่เชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายอีเทอร์เน็ต (Ethernet) ที่ข้างหนึ่ง และส่วนที่เชื่อมต่อเข้ากับสายแกนร่วม RF ที่อีกข้างหนึ่ง ส่วนที่เชื่อมต่อเข้ากับสายแกนร่วม RF จะนำสัญญาณ RF ไปยังเคเบิลโมเด็มของผู้ใช้บริการ และในทางกลับกันจะทำหน้าที่รับสัญญาณ RF ที่ถูกส่งย้อนกลับมาจากเคเบิลโมเด็มของผู้ใช้บริการ

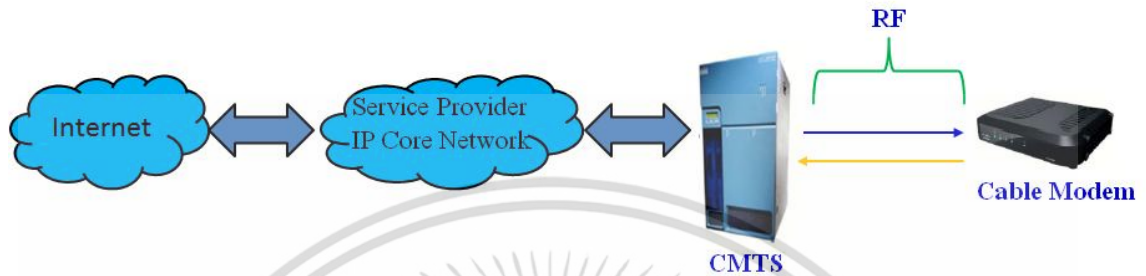
CMTS จะนำพาแต่ทราฟฟิก IP (IP Traffic) เท่านั้น โดยทราฟฟิกที่ถูกกำหนดจุดหมายสำหรับเคเบิลโมเด็มจากอินเทอร์เน็ต เรียกว่า ทราฟฟิกขาลง (Downstream Traffic) ซึ่งจะถูกบรรจุไว้ในกลุ่มข้อมูล IP (IP Packet) และถูกบรรจุในกลุ่มข้อมูล MPEG โดยข้อมูล MPEG เหล่านี้จะถูกบรรจุลงบนกระแสข้อมูลและผ่านกระบวนการมอดูเลต (Modulate) ส่งไปบนช่องสัญญาณโทรทัศน์ โดยใช้เทคนิคการมอดูเลชันแบบ QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

CMTS จะยินยอมให้คอมพิวเตอร์ของผู้ใช้บริการ รับเอาที่อยู่ IP (IP Address) ด้วยการส่งต่อ DHCP ที่ร้องขอไปยังผู้ให้บริการที่ตรงกัน โดยผู้ให้บริการ DHCP นี้จะตอบกลับคำร้องขอด้วยสิ่งที่มีลักษณะคล้ายกับผลตอบสนองที่เป็นมาตรฐาน ซึ่งจะประกอบไปด้วยที่อยู่ IP ที่กำหนดให้สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ และ IP สำหรับใช้เป็นที่อยู่ของเกตเวย์ (Gateway) / เราท์เตอร์ (Router) สำหรับผู้ให้บริการ DNS และอื่นๆ

โดยปกติเคเบิลโมเด็มของผู้ใช้บริการจะไม่สามารถสื่อสารโดยตรงกับโมเด็มตัวอื่นๆบนสายได้ ดังนั้นทราฟฟิกของเคเบิลโมเด็มจึงถูกกำหนดเส้นทางที่จะไปยังเคเบิลโมเด็มตัวอื่นหรือไปยังอินเทอร์เน็ตผ่านทางชุดของ CMTS และเราท์เตอร์ดั้งเดิม โดยสามารถข้ามผ่านเส้นทางที่ไปยัง CMTS เครื่องเดียว

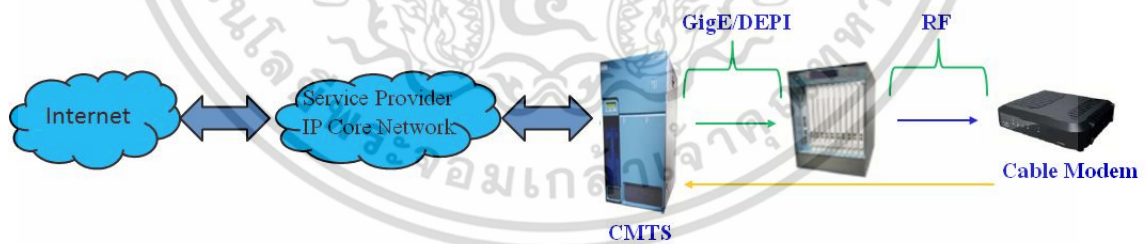
ในมาตรฐาน DOCSIS ได้มีการแบ่งชนิดของ CMTS ออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. CMTS ชนิด “Integrated” ซึ่งนำไปใช้โดยตรงกับจุดเชื่อมต่อสำหรับการเข้า – ออกทางด้านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และจุดเชื่อมต่อทางด้าน RF ในองค์ประกอบของเครือข่ายเดียว



รูปที่ 2.3 รูปแบบการเชื่อมต่อของ CMTS ชนิด Integrated

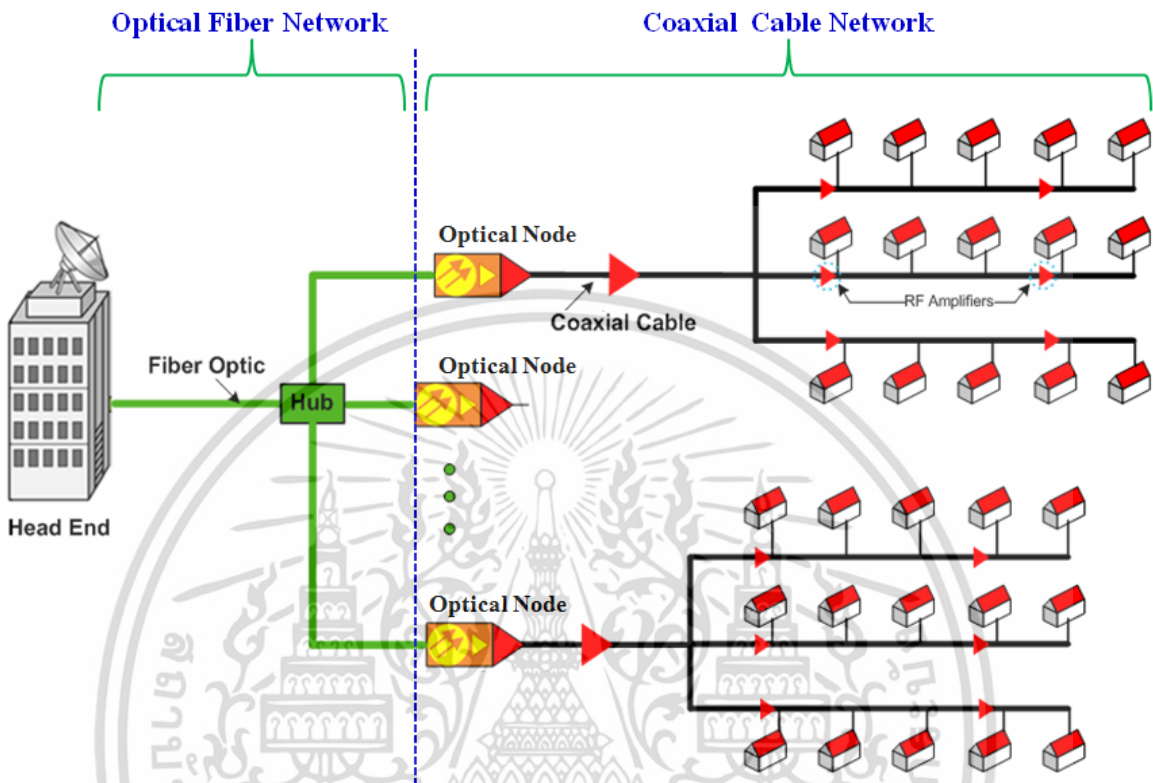
2. CMTS ชนิด “Modular” ซึ่งนำไปใช้กับจุดเชื่อมต่อทางด้านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และจุดเชื่อมต่อทางด้าน RF ในองค์ประกอบของเครือข่าย “Modular CMTS Core” สำหรับสัญญาณอพสตรีม และในส่วนของสัญญาณดาวนสตรีมจะถูกห่อหุ้มด้วย DEPI (Downstream External Physical Interface) ก่อนทำการส่งข้อมูลภายในองค์ประกอบของ EQAM (Edge Quadrature Amplitude Modulation)



รูปที่ 2.4 รูปแบบการเชื่อมต่อของ CMTS ชนิด Modular

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 สถาปัตยกรรมของเครือข่ายเคเบิลโมเด็มแบบ HFC



รูปที่ 2.5 สถาปัตยกรรมของเครือข่ายเคเบิลโมเด็มแบบ HFC

จากรูปที่ 2.5 สถาปัตยกรรมของเครือข่าย HFC (Hybrid Fiber Coaxial) จะประกอบไปด้วยเครือข่าย 2 ส่วนหลักดังนี้

2.3.2.1 เครือข่ายใยแก้วนำแสง (Optical fiber network/Supertrunk)

ใช้เพื่อส่งสัญญาณข้อมูลจากสถานีหลัก (Head-End) ผ่านเส้นใยแก้วนำแสงไปสู่สถานีย่อย (Hub) และกระจายไปสู่อปติคัลโหนด (Optical node) เพื่อทำการแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าและส่งเข้าสู่เครือข่ายโคแอกเซียลต่อไป ส่วนประกอบที่สำคัญในเครือข่ายใยแก้วนำแสง มีดังนี้

2.3.2.1.1 อุปกรณ์ส่งสัญญาณแสง (Optical Transmitter: OTx)

ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้า ให้เป็นสัญญาณแสง เพื่อส่งสัญญาณผ่านสายใยแก้วนำแสง (Optical Fiber Cable)

2.3.2.1.2 อุปกรณ์รับสัญญาณแสง (Optical Receiver: ORx)

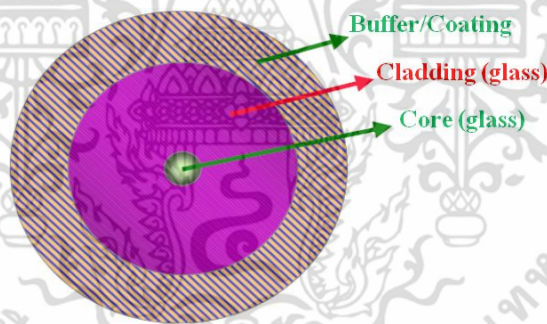
จะทำหน้าที่ตรงกันข้ามกับอุปกรณ์ส่งสัญญาณแสง คือแปลงสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อส่งสัญญาณผ่านสายโคแอกเชียลเคเบิล

2.3.2.1.3 อุปกรณ์ทวนและกระจายสัญญาณแสง (Optical repeater & distributor)

เป็นศูนย์กลางสำหรับการรับ – ส่งสัญญาณที่มาจากส่วนต่างๆผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคืออุปกรณ์ออปติคอลฮับ (Optical Hub) ซึ่งรับสัญญาณแสงที่ถูกส่งมาจาก Head-end ก่อนที่สัญญาณจะถูกกระจายออกไปตามส่วนต่างๆที่อยู่ถัดจากฮับต่อไปตามเครือข่ายใยแก้วนำแสง เนื่องจากระหว่างทางที่สัญญาณที่ถูกส่งมาจาก Head-End สัญญาณเกิดการลดทอนจากสาเหตุต่างๆ ทำให้ระดับสัญญาณมีค่าต่ำ จึงจำเป็นต้องมีการขยายระดับสัญญาณให้เหมาะสมสำหรับการส่งผ่านต่อไป

2.3.2.1.4 ใยแก้วนำแสง (Optical fiber)

ใยแก้วนำแสง คือสายนำสัญญาณข้อมูลในระบบเครือข่ายที่สามารถรับส่งข้อมูลได้ไกลหลายกิโลเมตร และมีการสูญเสียของสัญญาณที่ต่ำ รองรับการส่งข้อมูลที่มีปริมาณมาก ใยแก้วนำแสงถูกใช้แพร่หลายในโครงข่ายการส่งข้อมูลความเร็วสูง เช่น ระบบเอสดีเอช (SDH) หรือระบบโซเน็ต (SONET), ระบบเส้นใยนำแสงสู่บ้าน (Fiber To The Home: FTTH) เป็นต้น



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง (Optical fiber)

เส้นใยนำแสงดังแสดงในรูป 2.6 ทำมาจากสารประกอบซิลิกา (Silica) ที่มีความบริสุทธิ์หรือพลาสติก โครงสร้างของสายประกอบด้วยส่วนที่อยู่ชั้นข้างในเรียกว่า “แกนภายในหรือคอร์” (Core) ซึ่งเป็นส่วนที่แสงเดินทางผ่าน ส่วนคอร์นั้นถูกล้อมรอบด้วยชั้นภายนอกอีกชั้นเรียกว่า “แกนภายนอกหรือแคดดิง” (Cladding) ซึ่งทำหน้าที่จำกัดแสงให้อยู่ภายในคอร์ โดยชั้นเหล่านี้ถูกปกป้องด้วย เปลือกแข็งหรือชั้นหุ้มบางๆ (Buffer/Coating)

การสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง เป็นระบบการสื่อสารที่ใช้แสงผสมกับข้อมูลที่ต้องการส่งในรูปแบบแอนาล็อกหรือดิจิทัล แล้วจึงส่งผ่านตัวกลางคือเส้นใยแก้วนำแสง ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์ขนาดเล็กในระดับไมครอน ทำให้สายเคเบิลใยแก้ว 1 เส้น สามารถรวมเอาสายสัญญาณหลายๆคอร์ไฟเบอร์เข้าด้วยกัน โดยแสงจะถูกส่งผ่านไปยังตัวรับคือโฟโตดีเทคเตอร์เพื่อแปลผลค่าสัญญาณจากแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า และใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์แปรผลเป็นข้อมูลอีกครั้งหนึ่ง การสื่อสารผ่านเส้นใยนำแสงมีจุดเด่นคือสามารถส่งสัญญาณหลายๆช่องไปได้พร้อมๆกันโดยใช้เทคนิคการผสมสัญญาณ (Multiplexing) เทคนิคที่นิยมใช้คือ WDM (Wavelength Division Multiplexing) เป็นการส่งสัญญาณแต่ละช่องด้วยสัญญาณแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกัน ทำให้สามารถส่งข้อมูลได้ในปริมาณมาก เมื่อเทียบกับการสื่อสารผ่านสายทองแดงแบบเดิม สายใยแก้วนำแสงถูกแบ่งตามลักษณะการใช้งานออกได้ 2 ประเภท ดังนี้

2.3.2.1.4.1 เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว (Single Mode Optical Fibers, SM)

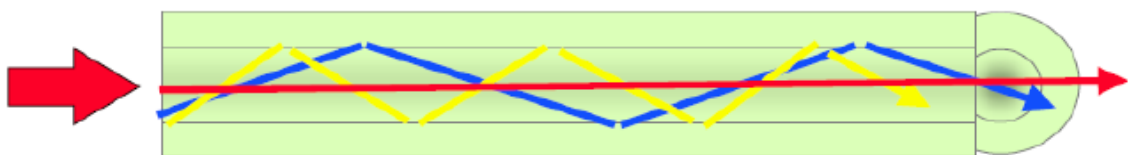
เป็นเส้นใยแก้วนำแสงที่มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 8 ถึง 9 ไมโครเมตร มีลักษณะการกระจายแสงที่บีบลำแสงให้พุ่งตรงไปตามท่อแก้ว โดยมีการกระจายแสงออกทางด้านข้างน้อยที่สุด เหมาะสำหรับการส่งสัญญาณระยะทางไกลๆ เช่น การส่งสัญญาณระหว่างประเทศ หรือระหว่างเมือง มักใช้รูปแบบ single mode



รูปที่ 2.7 การส่งสัญญาณในเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว

2.3.2.1.4.2 เส้นใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมด (Multi Mode Optical Fibers, MM)

เป็นเส้นใยแก้วนำแสงที่มีลักษณะการกระจายแสงออกด้านข้างได้ ถูกสร้างขึ้นให้มีดัชนีหักเหของแสงที่คอร์และแคลดดิ้งแตกต่างกัน เพื่อให้เกิดการสะท้อนกลับหมดของแสง ส่วนใหญ่นิยมใช้ในเครือข่ายแลน โดยมีขนาดของ core/cladding เท่ากับ 62.5/125 ไมโครเมตร



รูปที่ 2.8 การส่งสัญญาณในเส้นใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมด

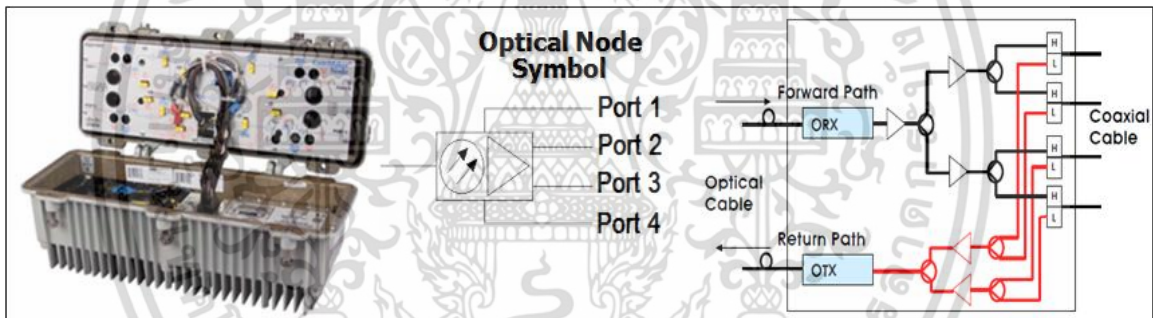
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2 เครือข่ายโคแอกเซียลเคเบิล (Coaxial cable network)

เริ่มต้นจากออปติคัลโหนดซึ่งเป็นตำแหน่งที่สัญญาณแสงถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า และถูกส่งผ่านสายเคเบิลหลัก (Trunk cable) ไปยังอุปกรณ์ขยายสัญญาณหลัก (Trunk Amplifier) เพื่อทำการปรับลักษณะสัญญาณ (Equalize) และขยายสัญญาณ (Amplify) จากนั้นสัญญาณไฟฟ้าจะถูกส่งผ่านระบบการกระจายของสายโคแอกเซียลเคเบิลไปสู่เคเบิลโมเด็มแต่ละตัวภายในบ้านของผู้ใช้บริการ ส่วนประกอบที่สำคัญในเครือข่ายโคแอกเซียลเคเบิล มีดังนี้

2.3.2.2.1 ออปติคัลโหนด (Optical node / Fiber node)

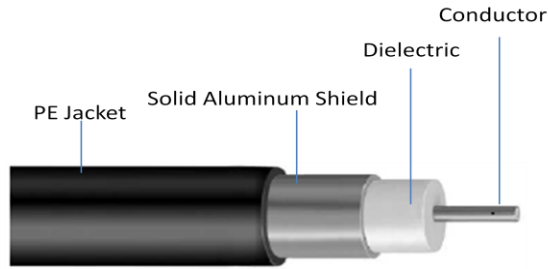
ออปติคัลโหนด เป็นอุปกรณ์ชนิด Active amplifier ที่มีหน้าที่แปลงสัญญาณแสงซึ่งรับมาจากเส้นใยแก้วนำแสงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า และส่งสัญญาณไปตามเครือข่ายโคแอกเซียลเคเบิลเพื่อกระจายสัญญาณให้กับผู้บริการ ในทางกลับกันออปติคัลโหนดจะรับสัญญาณทางไฟฟ้าที่ส่งมาจากเคเบิลโมเด็ม และทำการแปลงเป็นสัญญาณแสงเพื่อส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสงกลับไปยังอุปกรณ์ CMTS ซึ่งตั้งอยู่ในสถานีหลัก (Head-End)



รูปที่ 2.9 อุปกรณ์ออปติคัลโหนด / สัญลักษณ์

2.3.2.2.2 สายนำสัญญาณหลัก (Coaxial cable / Main cable)

สายโคแอกเซียลเคเบิลชนิด PIII-500 เป็นสายนำสัญญาณหลักที่อยู่ในเครือข่าย มีขนาดใหญ่ ใช้ในระยะทางยาวเป็นกิโลเมตร และมีการสูญเสียของสัญญาณน้อยกว่าสายชนิดอื่นๆ



รูปที่ 2.10 สายโคแอกเซียลเคเบิล ชนิด PII-500

2.3.2.2.3 สายนำสัญญาณภายในที่พักอาศัย (Coaxial cable / Drop cable)

สายโคแอกเซียลเคเบิลที่ใช้ต่อจากอุปกรณ์กระจายสัญญาณของเครือข่าย HFC เข้าสู่ภายในที่พักอาศัยเพื่อเชื่อมต่อเข้ากับเคเบิลโมเด็ม มี 2 ชนิด คือ

- สายโคแอกเซียลเคเบิลชนิด RG-11
- สายโคแอกเซียลเคเบิลชนิด RG-6

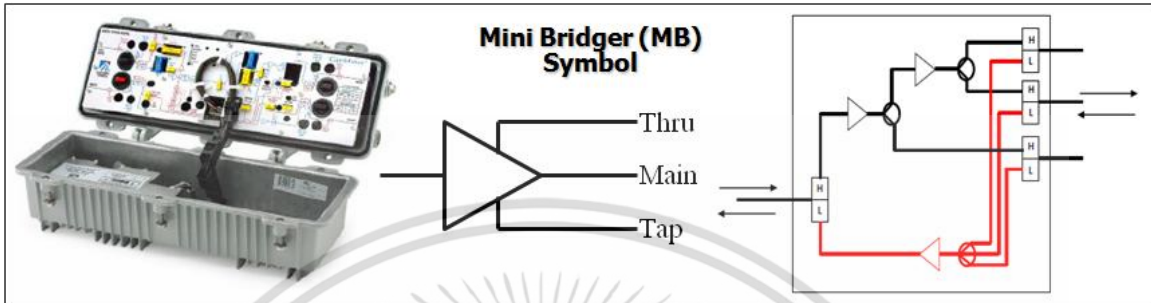


รูปที่ 2.11 สายโคแอกเซียลเคเบิล ชนิด RG

2.3.2.2.4 อุปกรณ์ขยายสัญญาณ (RF Amplifier)

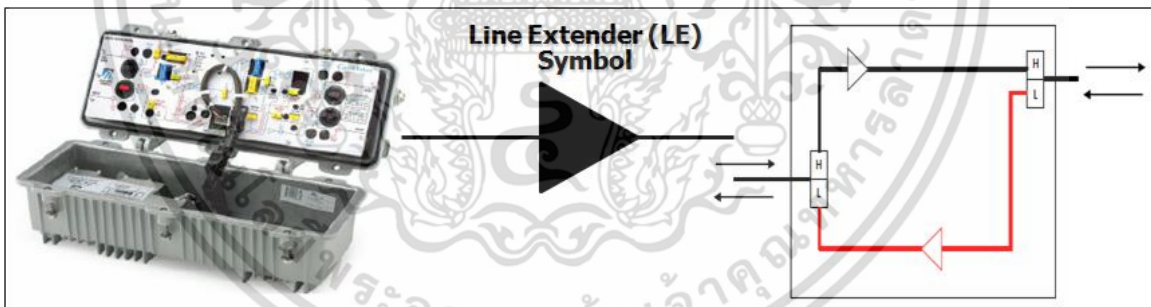
อุปกรณ์ขยายสัญญาณ เป็นอุปกรณ์ชนิด Active ทำหน้าที่ขยายสัญญาณทางไฟฟ้าที่รับเข้ามาให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมและส่งผ่านสัญญาณ โดยสามารถแบ่งอุปกรณ์ขยายสัญญาณได้เป็น 2 ชนิด คือ

- อุปกรณ์ขยายสัญญาณแบบหลายทาง (Mini Bridger: MB)
 เป็นอุปกรณ์ชนิด Active amplifier ที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณทางไฟฟ้าที่รับเข้ามา และส่งผ่านสัญญาณที่ถูกขยายออกไปในหลายทิศทาง



รูปที่ 2.12 อุปกรณ์ขยายสัญญาณแบบหลายทาง / สัญลักษณ์

- อุปกรณ์ขยายสัญญาณแบบทางเดียว (Line Extender: LE)
 เป็นอุปกรณ์ชนิด Active amplifier ที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณทางไฟฟ้าที่รับเข้ามา และส่งผ่านสัญญาณที่ถูกขยายออกไปในทิศทางเดียว



รูปที่ 2.13 อุปกรณ์ขยายสัญญาณแบบทางเดียว / สัญลักษณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2.5 อุปกรณ์จ่ายไฟ (Power Supply: PS)

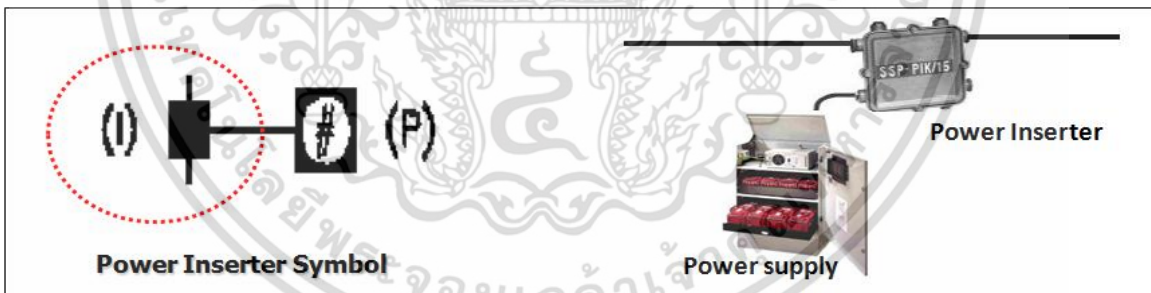
อุปกรณ์จ่ายไฟ คืออุปกรณ์ที่มีหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้า 220 VAC ให้มีค่า 60 หรือ 90 VAC เพื่อส่งผ่านสายโคแอกเซียลเคเบิล ไปจ่ายให้กับอุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Active Amplifier) ในเครือข่าย HFC



รูปที่ 2.14 สัญลักษณ์ / อุปกรณ์จ่ายไฟ (Power Supply: PS)

2.3.2.2.6 อุปกรณ์ป้อนไฟฟ้า (Power Inserter)

อุปกรณ์ป้อนไฟฟ้า คือ Passive Equipment ทำหน้าที่ป้อนไฟฟ้า แรงดัน 60 VAC ผ่านเข้าสายโคแอกเซียลเคเบิล เพื่อไปจ่ายให้กับอุปกรณ์ขยายสัญญาณตัวอื่นๆที่อยู่ในเครือข่าย HFC

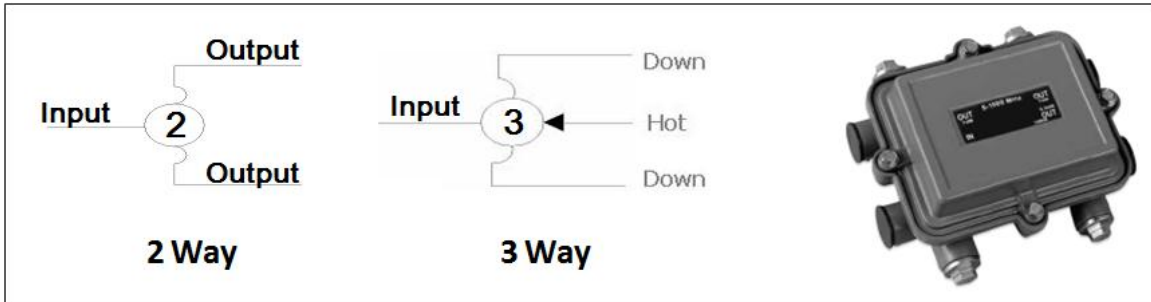


รูปที่ 2.15 สัญลักษณ์ / อุปกรณ์ป้อนไฟฟ้า (Power Inserter)

2.3.2.2.7 ตัวแยกสัญญาณสปีตเตอร์ (Splitter)

ตัวแยกสัญญาณสปีตเตอร์ เป็นอุปกรณ์ชนิด Passive Equipment ทำหน้าที่ในการแยกสัญญาณทางไฟฟ้า ออกเป็น 2 หรือ 3 ทิศทางตามชนิดของอุปกรณ์สปีตเตอร์

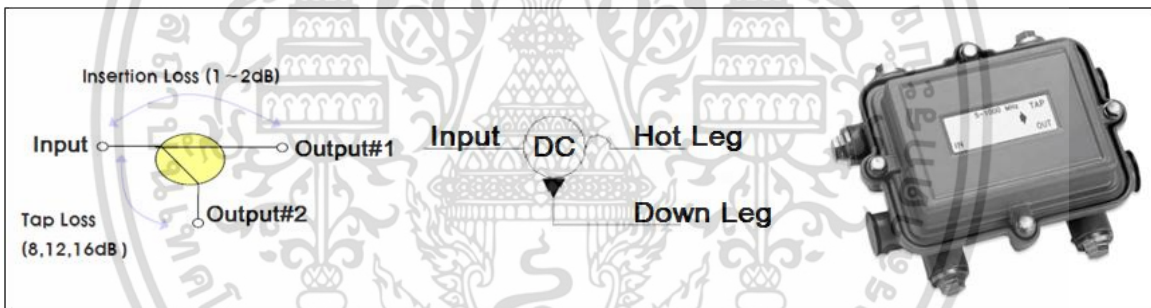
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 สัญลักษณ์ / ตัวแยกสัญญาณสปีดเตอร์ (Splitter)

2.3.2.2.8 ตัวแยกสัญญาณไดเรกชันแนล คอปเปอร์ (Directional Couple: DC)

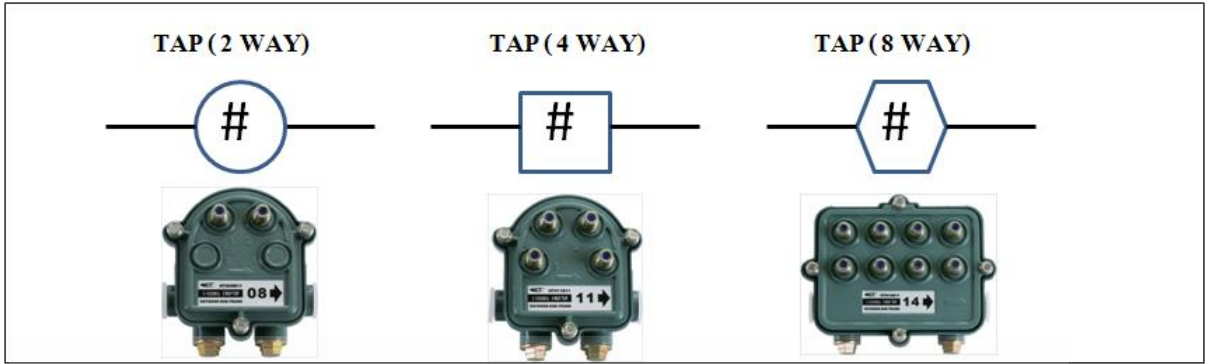
ตัวแยกสัญญาณไดเรกชันแนลคอปเปอร์ เป็นอุปกรณ์ชนิด Passive Equipment ทำหน้าที่ในการแยกสัญญาณทางไฟฟ้า จาก 1 อินพุตเคเบิล ออกเป็น 2 เอาต์พุตเคเบิล โดยเอาต์พุต ทั้ง 2 ข้าง จะมีการลดทอนของสัญญาณที่ไม่เท่ากัน



รูปที่ 2.17 สัญลักษณ์ / ตัวแยกสัญญาณ (Directional Couple: DC)

2.3.2.2.9 ตัวแยกสัญญาณแท็ปออฟ (Tap-off)

ตัวแยกสัญญาณแท็ปออฟ เป็นอุปกรณ์ชนิด Passive Equipment ทำหน้าที่แยกสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อส่งไปยังที่พักของผู้ใช้บริการ โดยจำนวนพอร์ตสำหรับแยกสัญญาณจะขึ้นกับชนิดของแท็ปออฟที่ใช้งาน โดยแท็ปออฟที่นิยมใช้งานในเครือข่าย HFC มี 3 ชนิดคือ ชนิด 2 ทาง, 4 ทาง และ 8 ทาง โดยค่าลดทอนสัญญาณของแท็ปออฟแต่ละชนิด จะแสดงตามตัวเลขที่ปรากฏอยู่บนหน้าแท็ปออฟตัวนั้นๆ



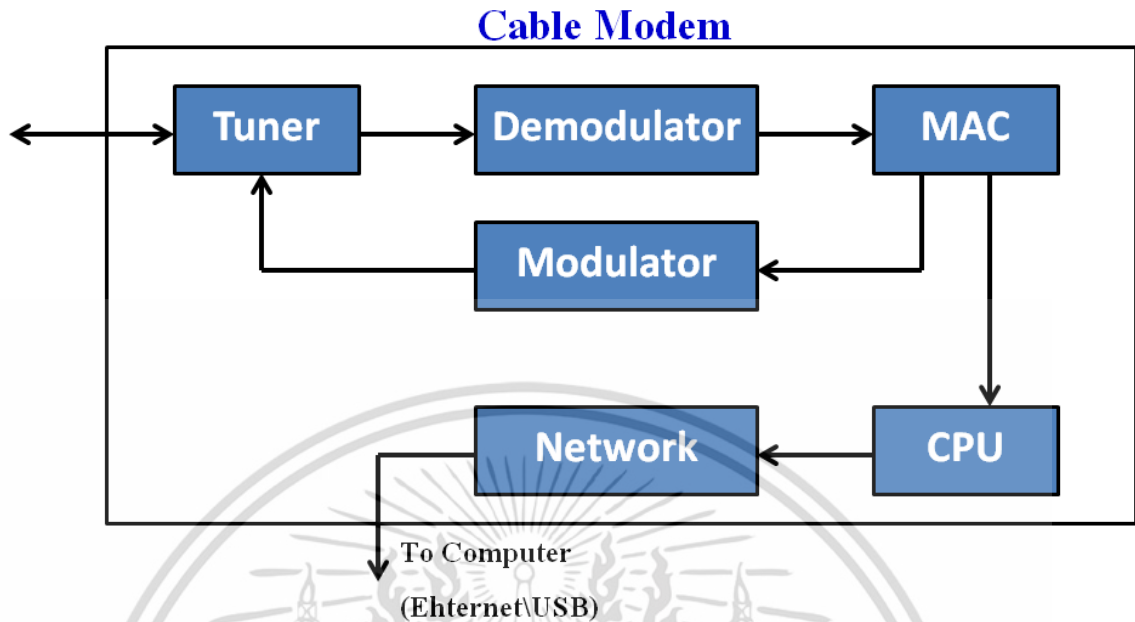
รูปที่ 2.18 สัญลักษณ์ / ตัวแยกสัญญาณแท็ปออฟ (Tap-off)

2.3.3 สถาปัตยกรรมของเคเบิลโมเด็ม

เคเบิลโมเด็มเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลหลายๆเครื่อง และรองรับอัตราการส่งข้อมูลที่สูง โดยมีอัตราการส่งข้อมูลสูงกว่าโมเด็มโทรศัพท์ขนาด 28.8 และ 56 kbps หรือระบบ ISDN (Integrated Service Digital Network) ขนาด 128 kbps และอัตราข้อมูลรองรับกับระบบ DSL (Digital Subscriber Line) นอกจากนี้เคเบิลโมเด็มสามารถเพิ่ม หรือรวมเข้ากับกล่องรับสัญญาณดิจิทัล (Set-Top-Box) ที่ทำให้ช่องสัญญาณโทรทัศน์ใช้เป็นช่องสัญญาณของอินเทอร์เน็ตได้

เคเบิลโมเด็มมีการติดต่อ 2 ด้าน ด้านหนึ่งเชื่อมต่อกับสายเคเบิล และอีกด้านเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลผ่านสายนำสัญญาณอินเทอร์เน็ต หรือผ่านช่องสัญญาณไร้สาย (wireless) ถึงแม้ว่าเคเบิลโมเด็มสามารถแปลงสัญญาณระหว่างสัญญาณอนาลอกกับสัญญาณดิจิทัลได้ แต่มีความซับซ้อนมากกว่าโมเด็มโทรศัพท์

เคเบิลโมเด็มนั้นอาจจะติดตั้งทั้งแบบภายนอก (External) และแบบภายใน (Internal) ก็ได้ ตามมาตรฐานแล้วเคเบิลโมเด็มจะต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่การ์ดอีเทอร์เน็ต(Ethernet) แบบ 10 BASE-T หากไม่คำนึงอุปกรณ์หรือรูปลักษณะภายนอกแล้ว อุปกรณ์หลักภายในเคเบิลโมเด็มทุกตัวจะต้องมีส่วนประกอบที่เป็นกุญแจสำคัญ 5 อย่างด้วยกัน โดยการเชื่อมโยงส่วนประกอบต่างๆภายในเคเบิลโมเด็มนั้นได้แสดงดังรูปที่ 2.19 ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนต่างๆดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.19 การเชื่อมโยงส่วนประกอบต่างๆภายในเคเบิลโมเด็ม

2.3.3.1 ตัวปรับความถี่ (Tuner)

ตัวปรับความถี่จะเชื่อมต่อกับสายเคเบิลภายนอก ซึ่งในบางครั้งอาจจะมีการใช้อุปกรณ์แยกสัญญาณ (Splitter) สำหรับแยกช่องสัญญาณของข้อมูลจากอินเทอร์เน็ตออกจากช่องสัญญาณรวมที่ประกอบไปด้วยช่องสัญญาณของเคเบิลทีวี เมื่อสัญญาณของข้อมูลจากอินเทอร์เน็ตผ่านเข้ามาทางช่องรับสัญญาณเคเบิล ตัวปรับความถี่จะรับสัญญาณดิจิทัลที่ผ่านการมอดูเลต (Modulated Digital Signal) และส่งต่อไปยังตัวดีมอดูเลต (Demodulator)

สำหรับในบางกรณีนั้น ตัวปรับความถี่จะมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า ตัวแยก - รวมสัญญาณทางความถี่ (Diplexer) ซึ่งจะอนุญาตให้ตัวปรับความถี่ใช้ชุดความถี่ค่าหนึ่งซึ่งมักจะอยู่ในช่วง 50 ถึง 1000 MHz สำหรับรับข้อมูลดาวเทียม และใช้ชุดความถี่อีกค่าหนึ่งซึ่งมักจะอยู่ในช่วง 5 ถึง 42 MHz สำหรับส่งข้อมูลสัญญาณดิจิทัลที่ผ่านการมอดูเลต (Modulate) ไปในช่องสัญญาณอัปสตรีม

2.3.3.2 ตัวดีมอดูเลต (Demodulator)

โดยทั่วไป ตัวดีมอดูเลตจะทำหน้าที่ 4 ประการ โดยตัวดีมอดูเลตชนิด Quadrature Amplitude Modulation (QAM) จะรับสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุซึ่งมีข้อมูลที่ถูกเข้ารหัสอยู่ และทำการเปลี่ยนทั้งแอมพลิจูดและเฟสของคลื่นความถี่วิทยุให้เป็นสัญญาณพื้นฐานที่สามารถนำไปประมวลผลต่อได้ โดยใช้ตัวแปลงสัญญาณชนิดอนาล็อกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter: A/D) ซึ่งตัวแปลงชนิดนี้

จะแปลงสัญญาณซึ่งมีความต่างศักย์ทางไฟฟ้าที่ต่างกันไปเป็นสัญญาณดิจิทัล 1 และ 0 ซึ่งจะต้องมีอุปกรณ์ตรวจสอบความผิดพลาดจากข้อมูลที่ได้รับมาเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน ดังนั้นปัญหาที่พบขณะถ่ายทอดสัญญาณสามารถตรวจสอบและแก้ไขได้

2.3.3.3 ตัวมอดูเลต (Modulator)

ในตัวเคเบิลโมเด็มสำหรับระบบเคเบิลที่ใช้ในการส่งข้อมูลนั้น ตัวมอดูเลต (Modulator) จะใช้ในการแปลงข้อมูลดิจิทัลของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไปเป็นสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุในการถ่ายทอด ซึ่งจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ

- ส่วนสำหรับการป้อนข้อมูล สำหรับแก้ไขข้อมูลที่รับเข้ามาและเกิดความผิดพลาดหลังจากการส่งถ่ายข้อมูลเสร็จสิ้น

- ตัวมอดูเลตชนิด QAM (QAM Modulator)

- ตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก (Digital to Analog converter: D/A)

2.3.3.4 ตัวควบคุมการเข้าถึงเครือข่าย (Media Access Control: MAC)

ตัวควบคุมการเข้าถึงเครือข่ายจะอยู่ระหว่างส่วนการส่งสัญญาณออปติคัล และการรับสัญญาณดาว์นสตรีมของเคเบิลโมเด็ม ทำหน้าที่เป็นส่วนติดต่อระหว่างฮาร์ดแวร์กับซอฟต์แวร์ของโปรโตคอลสำหรับเครือข่ายต่างๆ กล่าวได้ว่าอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมต่อเครือข่ายทุกชิ้น จะต้องมิตัวควบคุมการเข้าถึงเครือข่าย แต่ในกรณีของเคเบิลโมเด็ม ภาระหน้าที่ของตัวควบคุมเครือข่ายมีความซับซ้อนมากกว่าการเชื่อมต่อเครือข่ายทั่วไป ด้วยเหตุผลนี้ส่วนมากหน้าที่ในการควบคุมการเข้าถึงเครือข่ายจะไปอยู่ในส่วนของหน่วยประมวลผลกลางของเคเบิลโมเด็มหรือในระบบของผู้ใช้ การควบคุมการเข้าถึงเครือข่ายมีความซับซ้อนมากเมื่อเทียบกับการเข้าถึงเครือข่ายอีเทอร์เน็ต และในความเป็นจริงแล้วไม่มีตัวควบคุมการเข้าถึงเครือข่ายที่สามารถทำงานทั้งหมดได้โดยปราศจากความช่วยเหลือจากหน่วยประมวลผล

2.3.3.5 หน่วยประมวลผล (CPU)

หน้าที่ของหน่วยประมวลผลจะขึ้นอยู่กับว่าเคเบิลโมเด็มถูกออกแบบมาเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของระบบคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ หรือเพื่อใช้สำหรับให้บริการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต โดยในการเข้าถึงอินเทอร์เน็ตหน่วยประมวลผลภายในจะทำหน้าที่ในการควบคุมการเข้าถึงเครือข่าย จากโมดูลของตัวควบคุมการเข้าถึงเครือข่ายที่ทำหน้าที่เฉพาะในระบบ หน่วยประมวลผลคือหน่วยเดียวที่จำเป็นในการเข้าสู่อินเทอร์เน็ต ซึ่งงานบางชนิดจะใช้หน่วยประมวลผลกลางประมวลผลเกือบทั้งหมด

2.4 สรุป

วิทยานิพนธ์ในบทนี้ได้กล่าวถึง พื้นฐานของสถาปัตยกรรมของเครือข่ายเคเบิลโมเด็มแบบเฮชเอฟซี (HFC) องค์ประกอบของเครือข่ายซึ่งประกอบด้วย ระบบปลายทางของเคเบิลโมเด็มหรือซีเอ็มทีเอส (CMTS), เครือข่ายใยแก้วนำแสงผสมเคเบิลแกนร่วม (HFC network) และอุปกรณ์เคเบิลโมเด็ม (Cable modem) ซึ่งอุปกรณ์ต่างๆภายในเครือข่าย รวมถึงการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงบนเครือข่ายเฮชเอฟซี จะเป็นไปตามมาตรฐาน DOCSIS เพื่อเป็นการปูพื้นฐานในการอธิบายถึงการสื่อสารผ่านเครือข่ายเฮชเอฟซีในบทต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ช่องสัญญาณอัปสตรีมและดาว์นสตรีม

3.1 กล่าวนำ

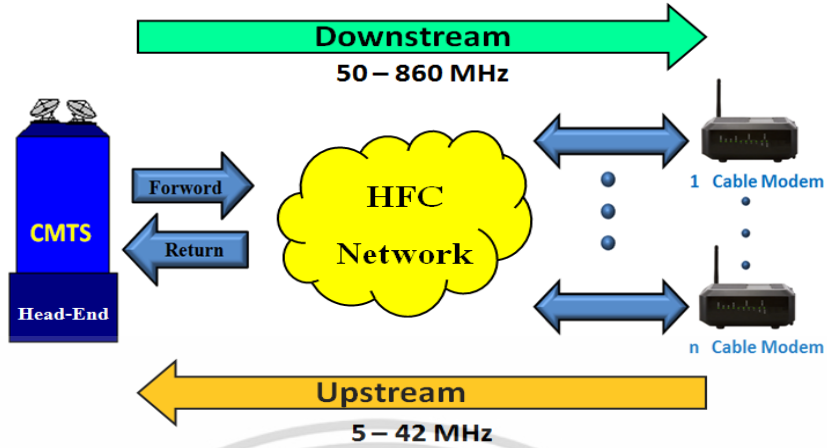
วิทยานิพนธ์ในบทนี้ ได้อธิบายถึงช่องสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสาร สำหรับให้บริการเคเบิลโมเด็มผ่านเครือข่ายเฮชเอฟซี (HFC network) โดยกล่าวถึง ช่องสัญญาณขาขึ้น (Upstream Channel) และช่องสัญญาณขาลง (Downstream Channel) ในการให้บริการเคเบิลโมเด็ม, การสื่อสารในเส้นใยแก้วนำแสง, ความกว้างของช่องสัญญาณ และอัตราการรับส่งข้อมูลในการให้บริการเคเบิลโมเด็ม

3.2 ช่องสัญญาณขาขึ้นและขาลง (Upstream and Downstream Channel)

ในการรับ - ส่งข้อมูล สำหรับบริการให้บริการเคเบิลโมเด็มผ่านเครือข่ายเฮชเอฟซีตามมาตรฐาน DOCSIS นั้น ข้อมูลที่ถูกส่งจากเครือข่ายของผู้ให้บริการไปยังผู้ใช้บริการ จะถูกเรียกว่า การส่งสัญญาณขาลงหรือดาว์นสตรีม (Downstream or Forward) และข้อมูลที่ถูกส่งจากผู้ใช้บริการผ่านอุปกรณ์เคเบิลโมเด็มย้อนกลับมายังเครือข่ายของผู้ให้บริการ จะถูกเรียกว่า การส่งสัญญาณขาขึ้นหรืออัปสตรีม (Upstream or Return) ซึ่งอัตราในการรับ - ส่งสัญญาณนั้นอาจปรับให้เหมาะสม ซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้บริการ เช่น ถ้าเป็นการใช้งานในองค์กรที่ทำธุรกิจผ่านเครือข่าย อัตราการส่งข้อมูลอัปสตรีมและดาว์นสตรีมอาจปรับให้เท่ากัน หรือถ้าเป็นการใช้งานอินเทอร์เน็ตที่บ้าน อัตราการส่งข้อมูลดาว์นสตรีมอาจปรับให้สูงกว่าทางด้านอัปสตรีม เป็นต้น ดังนั้นเคเบิลโมเด็มจึงมีรูปแบบการให้บริการ 2 รูปแบบด้วยกัน คือ

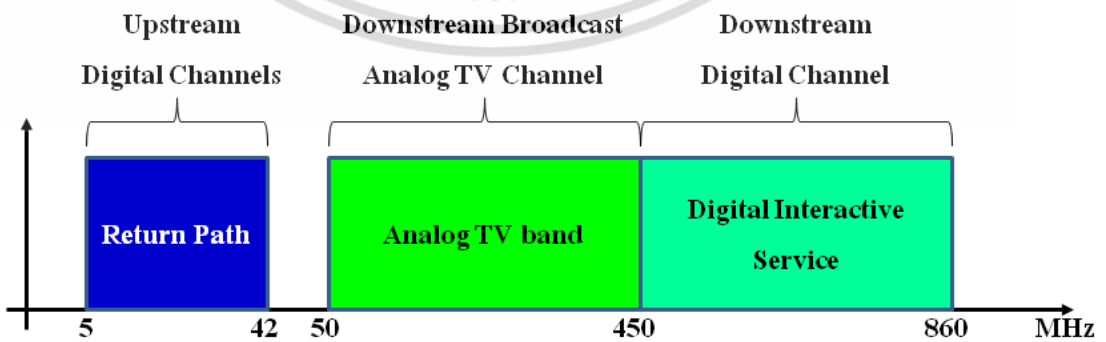
- แบบทางเดียว (One Way) คือ การส่งสัญญาณทางด้านดาว์นสตรีมจะถูกส่งผ่านสายเคเบิล ส่วนการทำงานด้านอัปสตรีมจะวิ่งไปตามสายโทรศัพท์แทน
- แบบสองทาง (Two Way) คือ การส่งสัญญาณทางด้านดาว์นสตรีมและอัปสตรีมจะถูกส่งผ่านสายเคเบิลทั้งหมด

สำหรับในบทนี้ จะทำการอธิบายการให้บริการเคเบิลโมเด็ม ผ่านเครือข่ายเฮชเอฟซี โดยมีรูปแบบการส่งสัญญาณในสองทิศทาง ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การสื่อสารแบบ 2 ทิศทางในเครือข่าย HFC

เนื่องจากการส่งสัญญาณผ่านสายเคเบิลเป็นแบบแถบความถี่ที่กว้างกว่าการส่งสัญญาณผ่านสายโทรศัพท์ทั่วไป จึงสามารถผสมสัญญาณที่มีความถี่ต่างกันได้ และจัดแบ่งออกเป็นช่องสัญญาณที่ไม่รบกวนกัน โดยการใช้เทคนิคมัลติเพล็กซ์บางรูปแบบ เช่น การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiplexing: FDM) โดยช่องสัญญาณที่ส่งออกไปในระบบเคเบิลโมเด็มจะแบ่งออกได้เป็น 3 ช่องสัญญาณ คือ ช่องสัญญาณโทรทัศน์แบบอนาล็อก 1 ช่องสัญญาณ และอีก 2 ช่องสัญญาณ คือ ช่องสัญญาณขาขึ้นหรืออัปสตรีม (Upstream Channel) และช่องสัญญาณขาลงหรือดาวน์สตรีม (Downstream Channel) สำหรับใช้รับ - ส่งข้อมูลดิจิทัลทั้งในทิศทางขาขึ้นและขาลงดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งในแต่ละช่องสัญญาณ ความกว้างของช่องสัญญาณหรือแบนด์วิดท์ (Bandwidth) จะถูกจัดสรรตามกระแสดความต้องการในการให้บริการ โดยความถี่ระหว่าง 5 - 42 MHz ได้ถูกจัดสรรไว้สำหรับการส่งข้อมูลขาขึ้นหรือข้อมูลอัปสตรีม มีความกว้างของช่องสัญญาณได้ตั้งแต่ 200 kHz ถึง 6.4 MHz ขณะที่ช่วงความถี่ 50 - 450 MHz ได้ถูกจัดสรรสำหรับการกระจายสัญญาณโทรทัศน์แบบอนาล็อก และช่วงความถี่ 450 - 860 MHz ได้ถูกจัดสรรสำหรับการส่งข้อมูลขาลงหรือข้อมูลดาวน์สตรีม โดยใช้ความกว้างของช่องสัญญาณ 6 หรือ 8 MHz



รูปที่ 3.2 การจัดสรรแบนด์วิดท์สำหรับเครือข่ายเคเบิลโมเด็มแบบ HFC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเครือข่าย HFC ช่องสัญญาณขาลงเป็นช่องสัญญาณในการกระจายข้อมูลแบบจุดเดียว ไปยังหลายจุด (Point – to – Multipoint) ด้วยแบนด์วิดท์ที่มีขนาด 30-40 Mbps ซึ่งถูกใช้โดยระบบ ปลายทางของเคเบิลโมเด็มหรือ CMTS (Cable Modem Termination System) และถูกแบ่งด้วย ผู้ใช้บริการเคเบิลโมเด็มทั้งหมดในเครือข่าย คือสำหรับทั้งผู้ใช้และการจัดการกราฟฟิก ขณะที่ ช่องสัญญาณขาลงจะแพร่กระจายข้อมูลไปตามปกติ แต่ละหน่วยของผู้ใช้บริการจะถูกกำหนดที่อยู่เฉพาะ ของแต่ละบุคคล โดยผ่านทาง การส่งกลุ่มข้อมูลไปยังลูกข่ายปลายทางเครื่องเดียว หรือหลายเครื่อง หรือ ส่งผ่านด้วยวิธีการส่งกลุ่มข้อมูลไปยังเครื่องลูกข่ายทุกๆเครื่องในระบบ

ส่วนช่องสัญญาณขาขึ้นหรืออัปสตรีม เป็นช่องสัญญาณการส่งแบบหลายจุดไปรวมยังจุด เดียว (Multipoint – to – Point) โดยเคเบิลโมเด็มทุกตัวมีการใช้สื่อกลางหรือช่องสัญญาณร่วมกัน เพื่อ ส่งการร้องขอไปยัง CMTS เท่านั้น โดยเป็นช่องสัญญาณที่มีการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiple Access) ซึ่งถูกแบ่งเป็นสล็อตของเวลาไม่ต่อเนื่อง (Discrete Time Slot) เรียกว่า Mini Slot โดยอุปกรณ์ CMTS ได้กำหนดให้ Mini Slot บางสล็อตเป็นสล็อตที่มีการช่วงชิง (Contention Slot) ซึ่งเป็น Mini Slot ที่ถูกใช้ในการส่งการร้องขอแบนด์วิดท์ และ Mini Slot บางสล็อตเป็นสล็อต ข้อมูล (Data Slot) ซึ่งเป็น Mini Slot ที่ถูกใช้สำหรับการส่งข้อมูล ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เครือ ข่าย HFC มี คุณสมบัติที่ไม่สมมาตรกันอย่างถาวร เนื่องจากช่องสัญญาณขาลงสามารถใช้งานแบนด์วิดท์ได้มากกว่า ช่องสัญญาณในขาขึ้น

นอกจากนี้ การไหลของช่องสัญญาณขาขึ้นต้องการกลไก MAC (Media Access Control) ในการส่งข้อมูลระดับเดียวกัน โดย MAC เป็นสิ่งที่ใช้ควบคุมการจัดสรรแบนด์วิดท์ของตัวกลาง ขาขึ้น โดยการเข้าถึงช่องสัญญาณขาขึ้นนั้น เป็นหนึ่งในเกณฑ์การออกแบบโปรโตคอล MAC (MAC Protocol) ที่ท้าทายสำหรับเคเบิลโมเด็ม

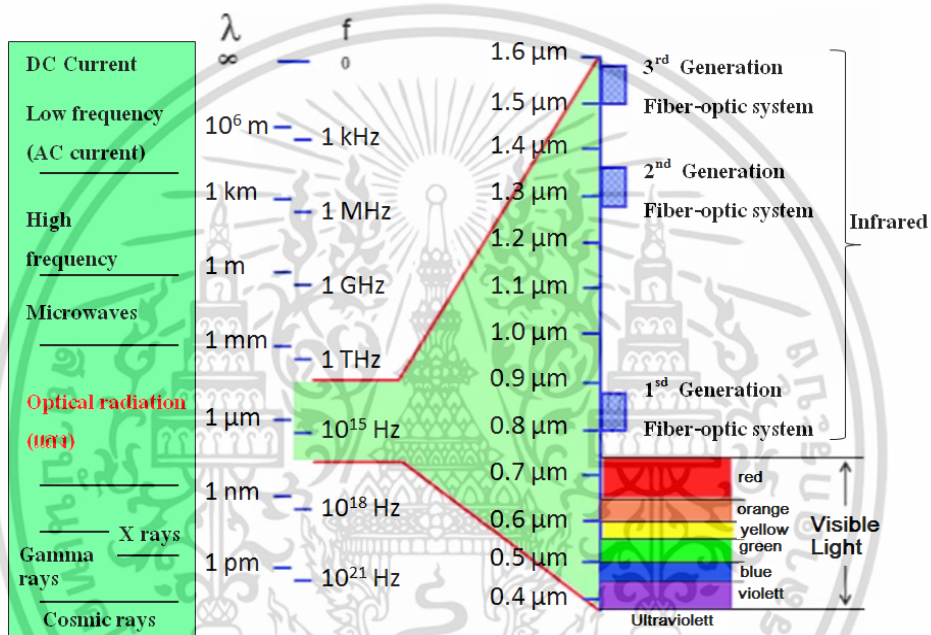
3.3 การสื่อสารในเส้นใยแก้วนำแสง

ในการให้บริการเคเบิลโมเด็ม ระยะทางระหว่างอุปกรณ์ปลายทางของเคเบิลโมเด็ม (CMTS) และตัวเคเบิลโมเด็ม (Cable Modem) มีระยะทางที่ไกล เส้นใยแก้วนำแสงจึงถูกนำมาใช้งาน ร่วมกับสายโคแอกเซียลเคเบิล กลายเป็นเครือข่าย HFC ที่ออกแบบผสมผสานระหว่างตัวนำ 2 ชนิด คือ เส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber Cable) และสายโคแอกเซียลเคเบิล (Coaxial Cable) โดยนำข้อดีของ ตัวนำแต่ละชนิดมาใช้ร่วมกัน ซึ่งข้อดีของเส้นใยแก้วนำแสง เมื่อเปรียบเทียบกับสายโคแอกเซียล เคเบิล ได้แก่

- มีอัตราการสูญเสีย (loss) ของสัญญาณต่อระยะทางที่ต่ำเมื่อเทียบกับสายโคแอกเซียลเคเบิล
- มีค่าอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน (Carrier to Noise Ratio), ความเพี้ยนอันดับสอง (CSO) และความเพี้ยนอันดับสาม (CTB) ที่ดี
- มีความเสถียรของสัญญาณแสงเมื่อส่งสัญญาณในระยะไกล เนื่องจากไม่ได้รับผลกระทบจาก คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

- ความต้องการในการทวนสัญญาณหรือใช้อุปกรณ์ที่ใช้ไฟเลี้ยง (Active equipment) น้อยกว่า การส่งสัญญาณวิทยุในสายโคแอกเชียลเคเบิล

จากคุณสมบัติต่างๆ เส้นใยแก้วนำแสงจึงถูกใช้สำหรับการรับส่งสัญญาณแสงในระยะไกล โดย คลื่นพาห์ (Optical Carrier) ในย่านความถี่แสง จะถูกเลือกมาจากหลายย่านความถี่ เช่น ย่านความถี่ที่ตามนุษย์สามารถมองเห็น (Visible), ย่านอินฟราเรด (Infrared) หรืออัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) ซึ่งในการให้บริการเคเบิลโมเด็มผ่านเครือข่าย HFC นั้น คลื่นพาห์ของแสงที่ถูกใช้งานจะอยู่ในย่านความถี่อินฟราเรด (Infrared) ดังแสดงในรูปที่ 3.3

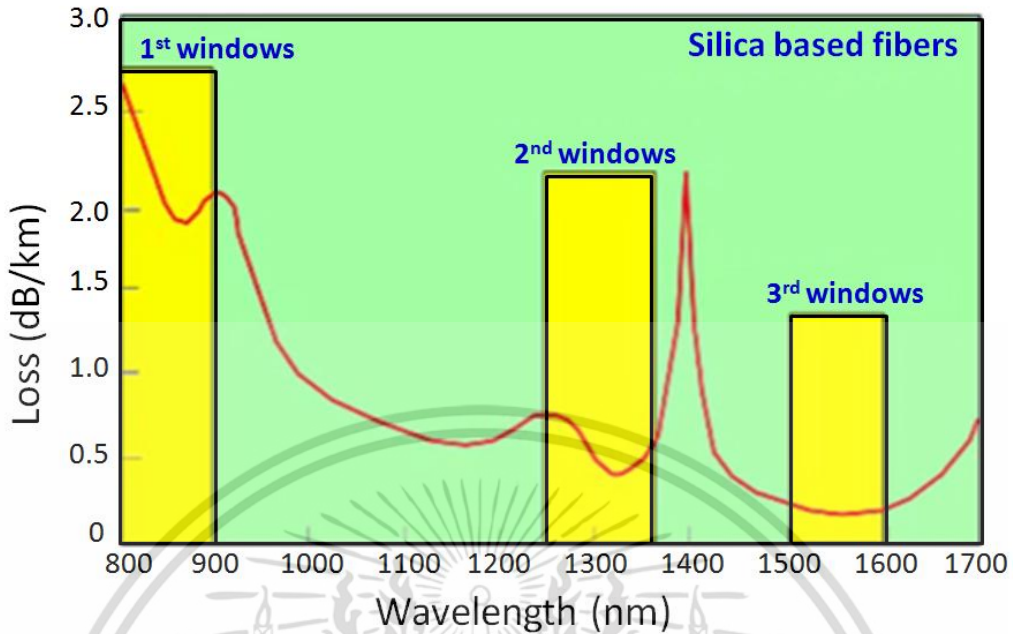


รูปที่ 3.3 ย่านความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารสัญญาณแสง

จากรูปที่ 3.3 เมื่อพิจารณาย่านความถี่อินฟราเรด ที่ช่วงความยาวคลื่น 800 ถึง 1700 นาโนเมตร ได้มีการตั้งความยาวคลื่นแสงที่เป็นมาตรฐานขึ้น เรียกว่า “Window” ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ

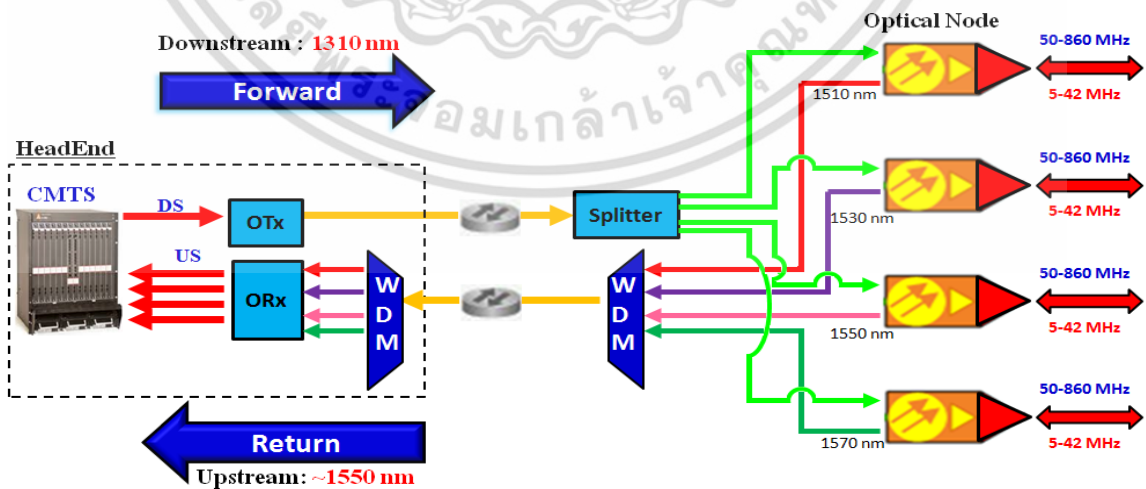
1. First Window มีความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร
2. Second Window หรือ S band มีความยาวคลื่นประมาณ 1310 นาโนเมตร
3. Third Window หรือ C band มีความยาวคลื่นประมาณ 1550 นาโนเมตร

โดยในแต่ละช่วงความยาวคลื่นของสัญญาณแสง จะมีอัตราการลดทอนของสัญญาณที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การลดทอนของสัญญาณแสงในย่านความถี่อินฟราเรด (Infrared)

สำหรับการสื่อสารในเครือข่าย HFC นั้น ความยาวคลื่นที่ 1310 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่มีคุณสมบัติต่อการยืดออกของพัลส์สัญญาณแสง (Dispersion) ที่ต่ำ จึงเหมาะสมกับการใช้ในการส่งสัญญาณทางด้านดาวน์โหลด (Downstream Signal) และความยาวคลื่นในช่วง 1550 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่มีการลดทอนเนื่องจากโครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง (Optical loss/attenuation) ที่ต่ำ จะถูกนำมาใช้ในการส่งสัญญาณทางด้านอัปสตรีม (Upstream Signal)



รูปที่ 3.5 การสื่อสารแบบ 2 ทิศทางในการให้บริการเคเบิลโมเด็มเต็มผ่านเครือข่าย HFC

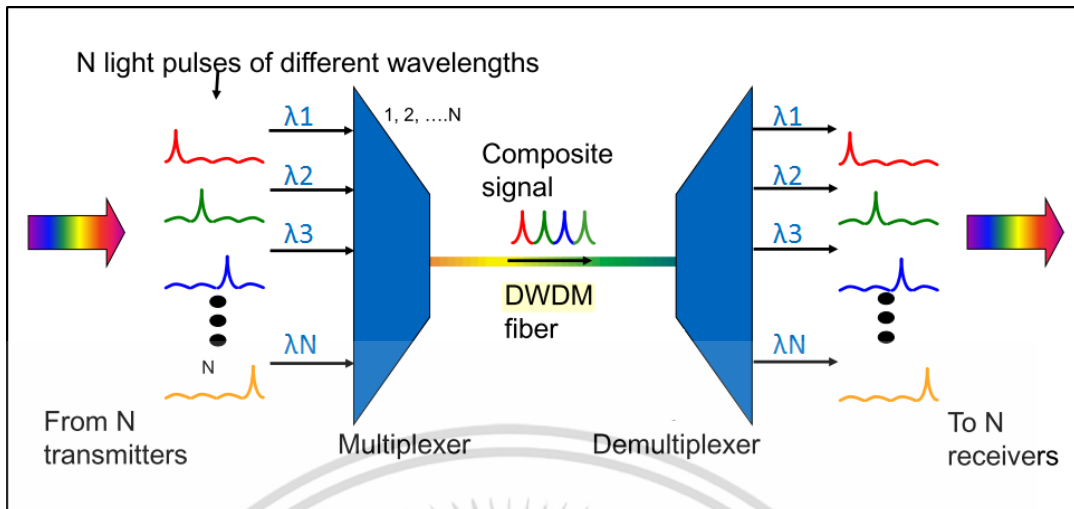
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.5 ภายในห้องควบคุมหลัก (Headend) การส่งสัญญาณทางด้านดาวนสตรีม สัญญาณดาวนสตรีมจากอุปกรณ์ CMTS จะถูกส่งผ่านอุปกรณ์ส่งสัญญาณแสง (Optical Transmitter: OTx) เพื่อทำการแปลงสัญญาณวิทยุให้เป็นสัญญาณแสงที่มีความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร และส่งผ่านเครือข่ายใยแก้วนำแสง (Optical Network) ไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณแสงที่อยู่ภายในออปติคอลลินด์ (Optical Node) แต่ละโหนด เพื่อทำการแปลงสัญญาณแสงที่ได้รับให้เป็นสัญญาณวิทยุที่ย่านความถี่ดาวนสตรีมช่วง 50-860 MHz และส่งผ่านไปยังเครือข่ายโคแอกเซียลเคเบิล (Coaxial Network) เพื่อกระจายไปยังผู้ใช้บริการเคเบิลโมเด็มแต่ละราย ในทางกลับกันการส่งสัญญาณทางด้านอัปสตรีม สัญญาณอัปสตรีมที่ย่านความถี่ 5-42 MHz จากเคเบิลโมเด็มแต่ละตัวภายในแต่ละออปติคอลลินด์ จะถูกส่งผ่านเครือข่ายสายโคแอกเซียลเคเบิลย้อนกลับมายังออปติคอลลินด์ เพื่อทำการแปลงสัญญาณวิทยุที่ได้รับให้กลายเป็นสัญญาณแสงที่มีความยาวคลื่น ช่วง 1550 นาโนเมตร และส่งผ่านเครือข่ายใยแก้วนำแสงย้อนกลับมายังอุปกรณ์รับสัญญาณแสง (Optical Receiver: ORx) ภายในห้องควบคุมหลัก ซึ่งทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณแสงให้กลายเป็นสัญญาณวิทยุและส่งต่อไปให้กับอุปกรณ์ CMTS

เทคนิคการสื่อสารที่ใช้ส่งผ่านสัญญาณในเส้นใยแก้วนำแสงนิยมใช้เทคนิคการมัลติเพล็กซ์สัญญาณที่เรียกว่า WDM (Wavelength-Division Multiplexing) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้การมัลติเพล็กซ์สัญญาณคลื่นพาห์แสง (Optical carrier) หลายๆ สัญญาณแล้วส่งไปในเส้นใยแก้วนำแสงเพียงเส้นเดียว โดยแต่ละคลื่นพาห์แสงจะใช้เวลาความยาวคลื่น (Wavelength) ของแสงเลเซอร์ที่แตกต่างกัน โดยเทคนิค WDM จะช่วยเพิ่มแบนด์วิดธ์ในการรับส่งสัญญาณแสงหรือทำให้การสื่อสารแบบสองทิศทาง (Bidirectional) สามารถทำได้บนเส้นใยแก้วนำแสงเส้นเดียวกัน

WDM เป็นเทคโนโลยีที่นิยมในการสื่อสารระยะไกล เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่อนุญาตให้สามารถขยายแบนด์วิดธ์ของเครือข่ายโดยไม่ต้องติดตั้งเส้นใยแก้วนำแสงใหม่ การขยายแบนด์วิดธ์ทำได้โดยการอัปเดตอุปกรณ์มัลติเพล็กซ์เซอร์ที่ต้นทางและปลายทางเท่านั้น โดยส่วนใหญ่ WDM จะทำงานได้กับสายซิงเกิลโหมดไฟเบอร์ (single Mode fiber optic) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหรือคอร์ประมาณ 9 ไมครอน (μm) แต่ก็มีบางอุปกรณ์ที่ทำงานได้กับสายมัลติโหมด (Multi Mode fiber optic) ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางหรือคอร์ที่ 50 ไมครอนและ 62.5 ไมครอน

WDM สามารถแบ่งย่อยออกเป็น 2 ประเภทคือ Dense และ Coarse โดยระบบที่มีการส่งสัญญาณแสงที่ใช้ความยาวคลื่นต่างกันมากกว่า 8 ความยาวคลื่น จะจัดเป็นประเภท DMDM (Dense WDM) และระบบที่ใช้ความยาวคลื่นน้อยกว่า 8 ความยาวคลื่นจะเรียกว่า CWDM (Coarse WDM) ทั้งสองประเภท เป็นเทคโนโลยีที่ใช้รวมสัญญาณแสงมากกว่าหนึ่งความยาวคลื่น เพื่อส่งไปบนเส้นใยแก้วนำแสงเส้นเดียว แต่จะแตกต่างกันที่ระยะห่างระหว่างความยาวคลื่น จำนวนช่องสัญญาณ และความสามารถในการขยายสัญญาณ (Amplifier)



รูปที่ 3.6 เทคโนโลยี Dense Wavelength-Division Multiplexing (DWDM)

จากรูปที่ 3.6 DWDM (Dense WDM) เป็นเทคโนโลยีในการมัลติเพล็กซ์สัญญาณแสงในช่วงความยาวคลื่น 1550 nm เพื่อให้ใช้ประโยชน์จากอุปกรณ์ EDFA (Erdium Doped Fibre Amplifiers) ซึ่งมีการใช้งานอย่างแพร่หลายและใช้รับส่งสัญญาณในช่วงความยาวคลื่น 1530 ถึง 1560 nm อุปกรณ์ EDFA ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อทดแทนอุปกรณ์ OER (Optical-Electrical Regenerator) ของเทคโนโลยี SONET/SDH โดย EDFA สามารถขยายสัญญาณแสงที่ถูกออกแบบมาได้อย่างดี ไม่ว่าอัตราข้อมูลจะสูงเท่าใดก็ตาม ในกรณีที่ใช้ความยาวคลื่นหลายช่วง EDFA ก็ยังสามารถขยายสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นกัน ดังนั้น อุปกรณ์ EDFA จะอนุญาตให้สามารถอัพเกรดลิงค์ที่ใช้หนึ่งความยาวคลื่นให้เป็น DWDM ได้ โดยเปลี่ยนอุปกรณ์รับ-ส่งที่ต้นทางและปลายทางเท่านั้น

3.3 ความกว้างของช่องสัญญาณ (Channel Width)

ในการให้บริการเคเบิลโมเด็มผ่านเครือข่าย HFC ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน DOCSIS ความกว้างของช่องสัญญาณที่ใช้งานทั้งทางด้านดาวนสตรีมและอัพสตรีม จะเป็นส่วนหนึ่งในการกำหนดอัตราการรับส่งข้อมูล

3.3.1 ความกว้างของสัญญาณดาวนสตรีม (Downstream channel width)

ความกว้างของช่องสัญญาณดาวนสตรีม จะสอดคล้องกับมาตรฐานการเผยแพร่สัญญาณภาพโทรทัศน์ (Television Broadcast Standard) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 มาตรฐานหลัก ดังนี้

3.3.1.1 มาตรฐานเอ็นทีเอสซี (NTSC) ย่อมาจาก The National Television Standard Committee เป็นมาตรฐานแรกของโลก พัฒนาขึ้นเมื่อปี ค.ศ.1954 โดย FCC (Federal Communications Commission) หน่วยงานของสหรัฐอเมริกา มาตรฐานนี้จะมีจำนวนเส้นทีวีแนวนอน (TV Lines) 525 เส้น และแนวตั้ง 60 เส้น และมีจำนวนภาพ 30 ภาพต่อวินาที ประเทศที่ใช้มาตรฐานนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น อเมริกา ญี่ปุ่น แคนาดา เป็นต้น มาตรฐานนี้มีอีกชื่อหนึ่งว่า Never Twice the Same Color และใช้ความกว้างของสัญญาณ (Bandwidth) เท่ากับ 6 MHz

3.3.1.2 มาตรฐานพัล (PAL) ย่อมาจาก Phase Alternating Line พัฒนาขึ้นโดยวิศวกรชาวเยอรมันชื่อ Walter Bruch ในปี 1963 แต่เริ่มเอามาใช้ในเชิงพาณิชย์เมื่อเดือนสิงหาคมปี 1967 มาตรฐานนี้มีจำนวนเส้นแนวนอน 625 เส้น และ 50 เส้นทางแนวตั้ง ความถี่จำนวนภาพ 25 ภาพต่อวินาที มีการแยกแบนด์วิธระหว่างสัญญาณภาพและเสียง ประเทศที่ใช้มาตรฐานนี้เช่น ไทย อังกฤษ ฝรั่งเศส เยอรมัน และประเทศในแถบยุโรป เป็นต้น มาตรฐานนี้มีอีกชื่อหนึ่งว่า Perfect At Last และใช้ความกว้างของสัญญาณ (Bandwidth) เท่ากับ 8 MHz

3.3.1.3 ระบบซีแคม (SECAM) ระบบการส่งสัญญาณโทรทัศน์ของประเทศฝรั่งเศสย่อมาจาก Se'quantiel Couleur à Me'moire (sequential color with a memory) โดยมีการส่ง 625 เส้น 25 ภาพต่อวินาที เป็นระบบที่ใช้ในประเทศฝรั่งเศส ประเทศทางแถบยุโรปและแอฟริกา



รูปที่ 3.7 มาตรฐานการเผยแพร่สัญญาณภาพโทรทัศน์ที่ใช้ในแต่ละประเทศ

โดยความกว้างของสัญญาณดาว์นสตรีมที่ใช้งานได้แก่ ความกว้างของสัญญาณที่ 6 MHz ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานเอ็นทีเอสซี ที่ใช้ในประเทศอเมริกา โดยเรียกมาตรฐาน DOCSIS ที่มีการใช้งานช่องสัญญาณดาว์นสตรีมที่ 6 MHz ว่า US-DOCSIS และความกว้างของสัญญาณที่ 8 MHz ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานพัล ที่นิยมใช้สำหรับประเทศในแถบยุโรปและเรียกมาตรฐานนี้ว่า Euro-DOCSIS สำหรับเครือข่ายที่ทำการศึกษา นั้น ความกว้างของช่องสัญญาณดาว์นสตรีมจะถูกกำหนดให้เป็นไปตามมาตรฐาน Euro-DOCSIS ที่ใช้ความกว้างของสัญญาณดาว์นสตรีม ที่ 8 MHz

3.3.2 ความกว้างของสัญญาณอัปสตรีม (Upstream channel width)

สัญญาณอัปสตรีมที่ใช้ในการสื่อสารตามมาตรฐาน DOCSIS สามารถใช้ค่าความกว้างของสัญญาณอัปสตรีม(Bandwidth) ได้หลากหลายค่า เช่น 200, 400, 800, 1600, 3200 และ 6400 KHz ขึ้นอยู่กับความต้องการอัตราเร็ว (Upstream Data Rate) ที่ใช้ในการให้บริการเคเบิลโมเด็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 อัตราการรับ-ส่งข้อมูล

ในการให้บริการเคเบิลโมเด็มผ่านเครือข่าย HFC อัตราการรับ-ส่งข้อมูลจะขึ้นอยู่กับความกว้างของช่องสัญญาณ (Bandwidth), อัตราบอด (Baud rate) และเทคนิคการมอดูเลชัน (Modulation technic) โดยอัตราการรับ-ส่งข้อมูลสำหรับสัญญาณดาวนสตรีมและอัพสตรีมจะเป็นไปตามสมการที่ 3.1

$$\text{Data late (bps)} = (\text{Number of bit per symbol}) \times (\text{Baud rate}) \quad (3.1)$$

เทคนิคการมอดูเลชันที่นิยมใช้ในการให้บริการเคเบิลโมเด็ม ได้แก่ เทคนิคการมอดูเลชันแบบ QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) และเทคนิคการมอดูเลชันแบบ QAM (Quadrature Amplitude Modulation) โดยสัญญาณดาวนสตรีมจะใช้การมอดูเลชันแบบ 64 และ 256 QAM สำหรับความกว้างของสัญญาณที่ 6 MHz (DOCSIS standard) และ 8 MHz (Euro-DOCSIS standard) หรือให้อัตราการส่งข้อมูล (Throughput) ประมาณ 50 Mbps ต่อ 1 ลูกสัญญาณดาวนสตรีม ที่ความกว้างช่องสัญญาณที่ 8 MHz ใช้อัตราการมอดูเลชันแบบ 256 QAM และใช้อัตราบอด (baud rate) ที่ 56.592M symbol/sec ดังแสดงในตารางที่ 3.1

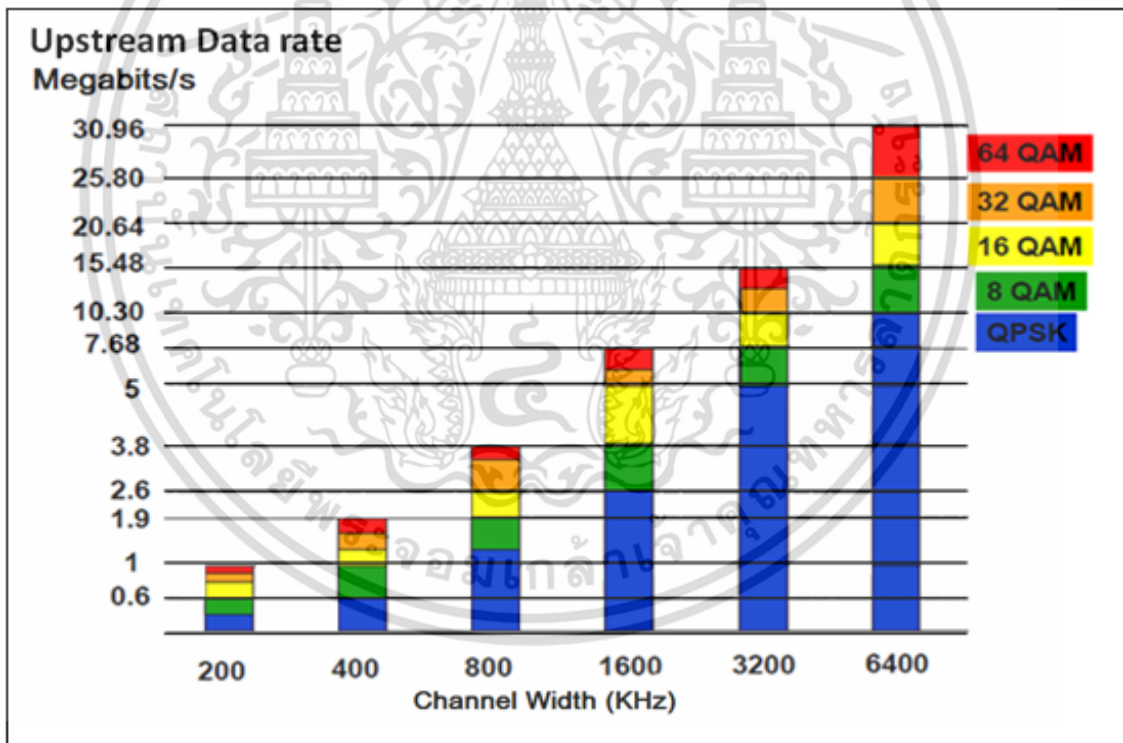
ตารางที่ 3.1 อัตราการส่งสัญญาณดาวนสตรีม ที่ความกว้างของช่องสัญญาณ 6 และ 8 MHz

Downstream Channel Width (MHz)	Modulation (bit/symbol)	Baud Rate (M Symbol/sec)	Raw Bit Rate (Mbps)	Throughput (Mbps)
6 MHz	64 QAM(6)	5.056	30.34	27
	256 QAM(8)	5.36	42.88	39
8 MHz	64 QAM(6)	6.592	39.55	36
	256 QAM(8)	6.592	52.74	51

สำหรับการส่งสัญญาณอัพสตรีมจะใช้การมอดูเลชันแบบ QPSK, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM และ 64-QAM ขึ้นอยู่กับอัตราเร็วที่ต้องการใช้งาน โดยสามารถให้อัตราการส่งผ่านสูงสุดประมาณ 27 Mbps เมื่อใช้อัตราการมอดูเลชันแบบ 64 QAM, ช่องความกว้างของสัญญาณเท่ากับ 6.4 MHz และใช้อัตราบอดที่ 5.12M symbol/sec ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 อัตราการส่งสัญญาณอพสตรีม ที่ความกว้างของช่องสัญญาณ 3.2 และ 6.4 MHz

Upstream Channel Width (MHz)	Modulation (bit/symbol)	Baud Rate (M Symbol/sec)	Raw Bit Rate (Mbps)	Throughput (Mbps)
6.4 MHz	64-QAM (6)	5.12	30.96	27.2
	32-QAM (5)		25.80	22.3
	16-QAM (4)		20.54	19.8
	8-QPSK (3)		15.48	13.3
	QPSK (2)		10.30	8.9
3.2 MHz	64-QAM (6)	2.56	15.48	13.3
	32-QAM (5)		12.90	11
	16-QAM (4)		10.30	8.9
	8-QPSK (3)		7.68	6.6
	QPSK (2)		5.12	4.4



รูปที่ 3.8 อัตราการส่งสัญญาณอพสตรีมที่ความกว้างช่องสัญญาณและเทคนิคมอดูเลชันต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 สรุป

วิทยานิพนธ์ในบทนี้ได้อธิบายถึงช่องสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารบนเครือข่ายเฮชเอฟซี (HFC network) โดยได้อ้างอิงตามมาตรฐาน DOCSIS และ IEEE 802.14 โดยได้อธิบายถึงการแบ่งช่องสัญญาณที่ใช้ในการรับส่งสัญญาณดาวนีสตรีมและสัญญาณอัปสตรีม ทั้งในด้านของความถี่สัญญาณวิทยุ และในด้านของความยาวคลื่นของสัญญาณแสง ความกว้างของช่องสัญญาณ, รูปแบบการมอดูเลชั่นที่ใช้งาน และอัตราการส่งผ่านของแต่ละช่องสัญญาณ

สำหรับในบทต่อไปจะอธิบายถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญจากสัญญาณดาวนีสตรีมและอัปสตรีม และการออกแบบตัวชี้วัดเครือข่าย A5 และ B



บทที่ 4

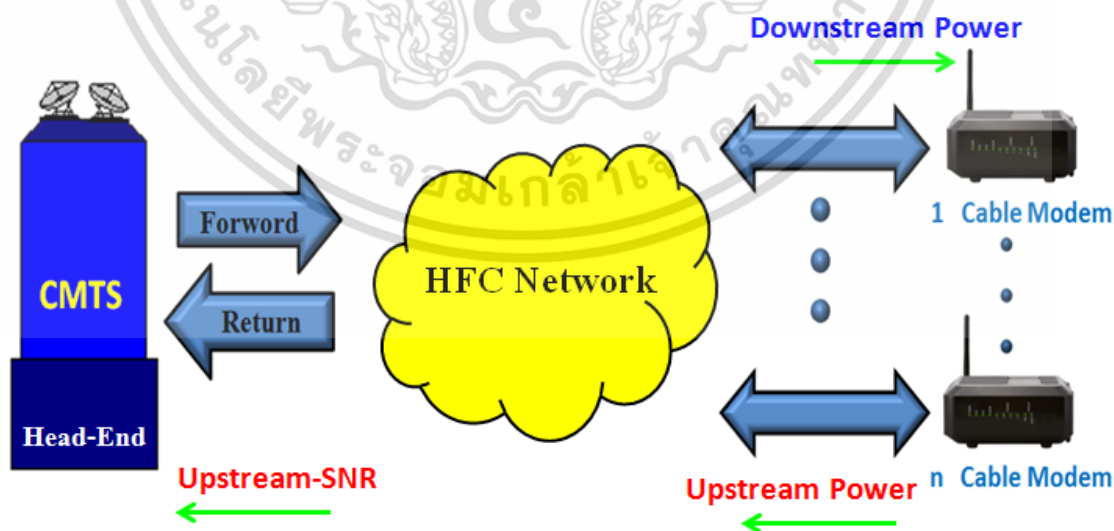
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยและการออกแบบตัวชี้วัดเครือข่าย

4.1 กล่าวนำ

วิทยานิพนธ์ในบทนี้ได้อธิบายถึงพารามิเตอร์ที่สำคัญ 3 พารามิเตอร์ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการของการให้บริการเคเบิลโมเด็มผ่านเครือข่ายเฮชเอฟซี โดยกล่าวถึงการใช้พารามิเตอร์ทั้ง 3 พารามิเตอร์ในการออกแบบเครือข่ายให้มีความทำงานเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด และยังอธิบายถึงตัวชี้วัดเครือข่าย ทั้งในแง่ของสัญญาณรบกวน และความสมดุลของสัญญาณที่ให้บริการ

4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบเครือข่าย

ในการให้บริการเคเบิลโมเด็มนั้น การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ซีเอ็มทีเอส(CMTS) และเคเบิลโมเด็ม ผ่านเครือข่ายเฮชเอฟซี จะมีรูปแบบของการสื่อสารแบบสองทิศทาง ซึ่งจะประกอบไปด้วย การส่งสัญญาณขาลงหรือสัญญาณดาว์นสตรีม (Downstream signal) เป็นสัญญาณที่ถูกส่งจากอุปกรณ์ซีเอ็มทีเอสในส่วนของเฮดเอนด์ (Headend) ไปยังเคเบิลโมเด็มซึ่งอยู่ภายในบ้านของผู้ใช้บริการ โดยใช้ช่วงความถี่ในการส่งผ่าน 50 ถึง 860 MHz และในทางกลับกัน การส่งสัญญาณขาขึ้นหรือสัญญาณอัปสตรีม (Upstream signal) จะเป็นสัญญาณที่ถูกส่งจากเคเบิลโมเด็ม ย้อนกลับมายังอุปกรณ์ซีเอ็มทีเอสในเฮดเอนด์ โดยใช้ช่วงความถี่ 5 ถึง 42 MHz ในการส่งสัญญาณอัปสตรีม การสื่อสารระหว่างซีเอ็มทีเอสและเคเบิลโมเด็มถูกแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การสื่อสารแบบสองทิศทางในเครือข่ายเฮชเอฟซี (HFC network)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกระบวนการสื่อสารระหว่างซีเอ็มทีเอส (CMTS) และเคเบิลโมเด็มผ่านเครือข่ายเฮชเอฟซี (HFC network) นั้น จะมีพารามิเตอร์จำนวนมากที่เกิดขึ้นระหว่างการสื่อสาร ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ ทำการศึกษาค่าพารามิเตอร์ 3 พารามิเตอร์ ที่เกิดขึ้นในการให้บริการเคเบิลโมเด็มผ่านเครือข่ายเฮชเอฟซี โดยค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 พารามิเตอร์ซึ่งสามารถใช้ในการพิจารณาประสิทธิภาพการดำเนินงานในการ ให้บริการผ่านเครือข่ายเฮชเอฟซี ถูกแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ออกแบบตัวชี้วัดเครือข่าย ภายใต้เครือข่ายที่ศึกษา

ลำดับ	พารามิเตอร์	เกณฑ์ที่เหมาะสม
1	กำลังส่งดาวนสตรีม (Downstream Power)	-15 ถึง +15 dBmV
2	กำลังส่งอัพสตรีม (Upstream Power)	37 ถึง 52 dBmV
3	อัตราส่วนกำลังส่งอัพสตรีมต่อสัญญาณรบกวน (Upstream Signal to Noise ratio)	มากกว่า 30 dB

4.2.1 กำลังส่งดาวนสตรีม (Downstream Power : DS-PWR)

กำลังส่งดาวนสตรีม คือค่ากำลังของสัญญาณขาหลังที่ถูกส่งจากเครื่องส่งสัญญาณในอุปกรณ์ซีเอ็มทีเอสไปยังเคเบิลโมเด็ม โดยเคเบิลโมเด็มจะรับสัญญาณดาวนสตรีมและบันทึกค่าของกำลังส่งในช่วงเวลานั้นเก็บไว้ ค่ากำลังส่งดาวนสตรีมที่เหมาะสมสำหรับเคเบิลโมเด็มควรมีค่าไม่ต่ำกว่า -15 dBmV และไม่ควรสูงกว่า +15 dBmV โดยค่ากำลังส่งดาวนสตรีมที่เท่ากับ 0 dBmV เป็นระดับที่ดีที่สุดสำหรับเคเบิลโมเด็ม สำหรับเครือข่ายเฮชเอฟซีที่มีการใช้งานจริงนั้น ค่ากำลังส่งดาวนสตรีมที่ยอมรับได้ควรมีค่าอยู่ในช่วงของ -12 ถึง +12 dBmV ถ้าระดับกำลังส่งดาวนสตรีมน้อยหรือมากกว่าช่วงดังกล่าว อาจนำไปสู่ปัญหาคุณภาพการให้บริการเคเบิลโมเด็มบนเครือข่ายเฮชเอฟซี

4.2.2 กำลังส่งอัพสตรีม (Upstream Power : US-PWR)

กำลังส่งอัพสตรีม คือค่ากำลังของสัญญาณขาขึ้นที่ถูกส่งออกจากเคเบิลโมเด็ม ย้อนกลับไปยังอุปกรณ์ซีเอ็มทีเอสในเฮดเอนด์ โดยเคเบิลโมเด็มจะส่งสัญญาณอัพสตรีมและบันทึกค่ากำลังส่งในช่วงเวลานั้นเก็บไว้ ค่ากำลังส่งอัพสตรีมที่เหมาะสมสำหรับเคเบิลโมเด็มแต่ละตัว จะขึ้นอยู่กับเทคนิคการมอดูเลชัน (Modulation) ที่เคเบิลโมเด็มใช้งาน ซึ่งสามารถมีค่าได้ตั้งแต่

8 dBmV ถึงค่าสูงสุดที่ 58 dBmV สำหรับเทคนิคการมอดูเลทแบบคิวพีเอสเค (QPSK)

8 dBmV ถึงค่าสูงสุดที่ 55 dBmV สำหรับเทคนิคการมอดูเลทแบบ 8 คิวเอเอ็ม (8 QAM)

และ 16 คิวเอเอ็ม (16 QAM)

8 dBmV ถึงค่าสูงสุดที่ 54 dBmV สำหรับเทคนิคการมอดูเลตแบบ 32 คิวเอเอ็ม (32 QAM) และ 64 คิวเอเอ็ม (64 QAM)

8 dBmV ถึงค่าสูงสุดที่ 53 dBmV สำหรับเทคนิค S-CDMA (DOCSIS 2.0)

สำหรับเครือข่ายเฮชเอฟซีที่ใช้ศึกษา ค่ากำลังส่งอัสตริมที่เหมาะสมควรมีค่าอยู่ในช่วง 37 ถึง 52 dBmV ถ้าเคเบิลโมเด็มใช้อัตราการมอดูเลตที่สูงและอัตราการมอดูเลตดังกล่าวส่งผลให้กำลังส่งของสัญญาณอัสตริมมีค่าสูงเกินกว่าระดับที่กำหนด ตัวเคเบิลโมเด็มจะทำการปรับลดอัตราการมอดูเลตให้ต่ำลง เช่นจากการมอดูเลตแบบ 64 QAM เปลี่ยนไปใช้ 16 QAM หรือจาก 16 QAM เปลี่ยนไปใช้ QPSK ถ้ากำลังส่งของสัญญาณอัสตริมมีค่าสูงกว่าระดับที่อนุญาต อุปกรณ์ซีเอ็มทีเอสจะกำหนดให้เคเบิลโมเด็มมีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการมอดูเลตดังกล่าว ซึ่งการปรับลดอัตราการมอดูเลตของเคเบิลโมเด็มนั้น อาจก่อให้เกิดปัญหาด้านความเร็วในการสื่อสาร, การสูญเสียของแพ็คเก็ต และปัญหาการขาดการเชื่อมต่อกับซีเอ็มทีเอส ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพของช่องสัญญาณอัสตริมในขณะนั้น

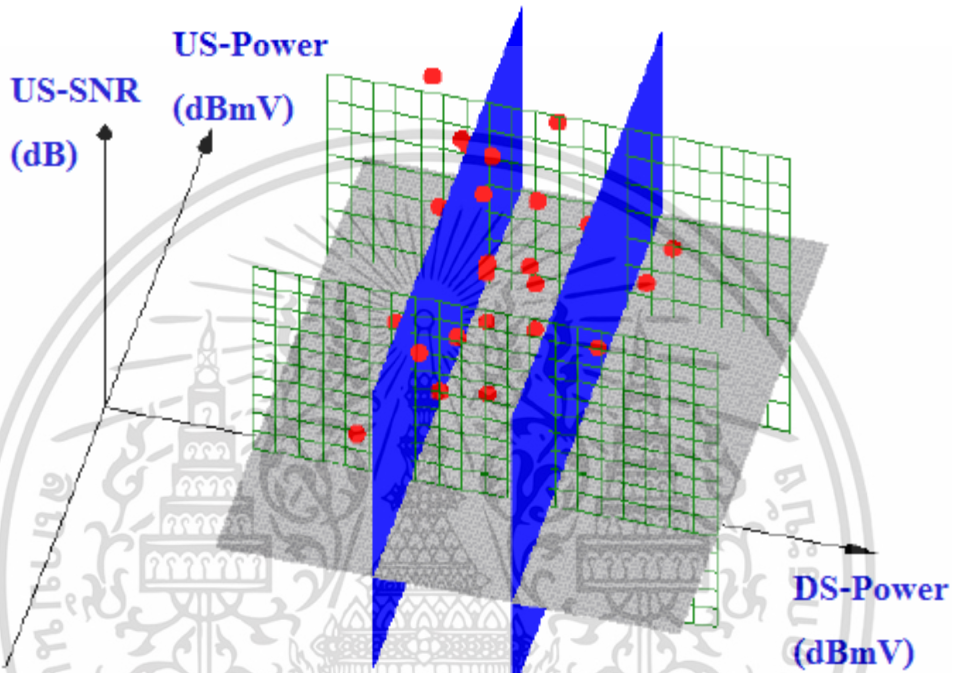
4.2.3 อัตราส่วนสัญญาณอัสตริมต่อสัญญาณรบกวน

(Upstream Signal to Noise Ratio : US-SNR)

ค่าอัตราส่วนสัญญาณอัสตริมต่อสัญญาณรบกวน เป็นค่าที่วัดและบันทึกได้จากอุปกรณ์รับสัญญาณของซีเอ็มทีเอส ผ่านช่องสัญญาณขาขึ้น (Upstream channel) สำหรับเครือข่ายที่ทำการศึกษานั้น ค่าอัตราส่วนสัญญาณอัสตริมต่อสัญญาณรบกวนควรมีค่ามากกว่า 30 dB (สำหรับเคเบิลโมเด็มที่ใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบ 16 QAM) หรือมีค่ายิ่งสูงยิ่งดีไม่มีการจำกัด ส่วนค่าที่ต่ำกว่า 30 dB จะใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงการมีสัญญาณรบกวน (Noise) เข้ามาในเครือข่ายเฮชเอฟซี ในช่องสัญญาณอัสตริม ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาการขาดการเชื่อมต่อระหว่างเคเบิลโมเด็มกับอุปกรณ์ซีเอ็มทีเอส, การสูญหายของข้อมูล และอัตราการถ่ายโอนข้อมูลที่ช้าลง

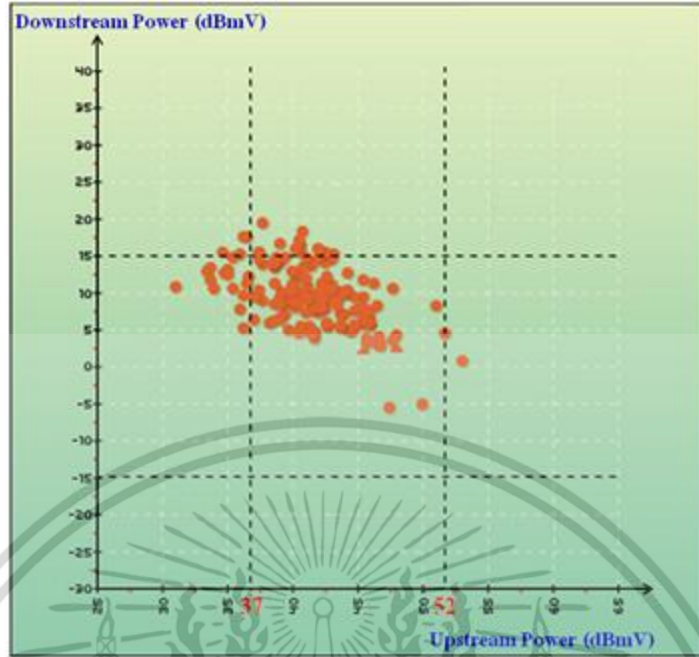
4.3 การออกแบบตัวชี้วัดเครือข่าย

ในการออกแบบเครือข่ายเฮชเอฟซีที่มีคุณภาพในการให้บริการเคเบิลโมเด็มนั้น ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 พารามิเตอร์จะถูกใช้ในการออกแบบเครือข่ายเฮชเอฟซี และใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพการทำงานของเครือข่าย โดยเมื่อพิจารณาพารามิเตอร์ทั้ง 3 ในรูปของภาพ 3 มิติ จะพบความเกี่ยวพันกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 – 4.4

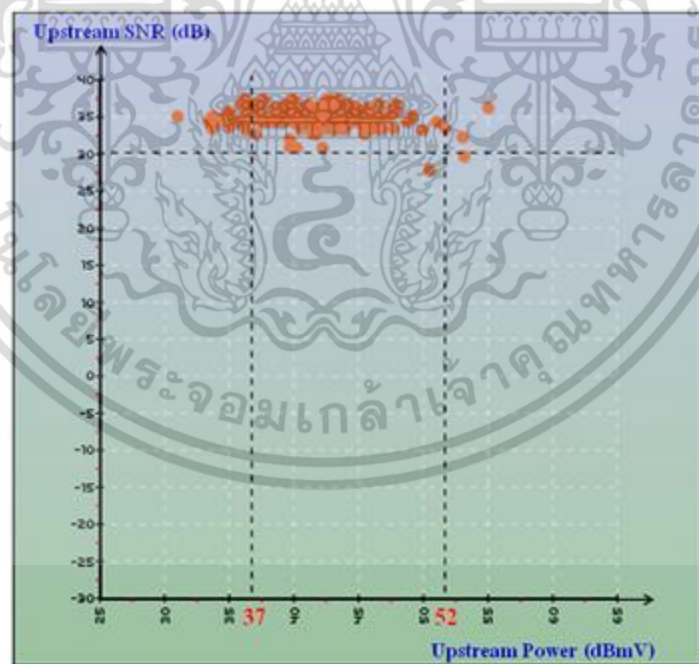


รูปที่ 4.2 แผนภาพ 3 มิติ ที่ประกอบขึ้นจากพารามิเตอร์ที่สำคัญ 3 พารามิเตอร์

จากรูปที่ 4.2 เป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทั้ง 3 พารามิเตอร์ ซึ่งประกอบขึ้นจากเกณฑ์ค่าสัญญาณของพารามิเตอร์แต่ละตัว ดังที่แสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งจะประกอบด้วย ค่ากำลังส่งดาวนสตรีม (Downstream Power) ในช่วง -15 ถึง $+15$ dBmV ค่ากำลังส่งอัพสตรีม (Upstream Power) ในช่วง 37 ถึง 52 dBmV และค่าอัตราส่วนสัญญาณส่งอัพสตรีมต่อสัญญาณรบกวน (Upstream SNR) ที่เท่ากับ 30 dB โดยสามารถพิจารณาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์แต่ละพารามิเตอร์ในแง่ของความสมดุลของกำลังส่ง และในแง่ของสัญญาณรบกวนที่เข้ามาภายในเครือข่ายเฮชเอฟซี ได้จากรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 ภาพ 4.2 บนระนาบ 2 มิติ ระหว่างกำลังส่งดาวนสตรีม และกำลังส่งอัปสตรีม



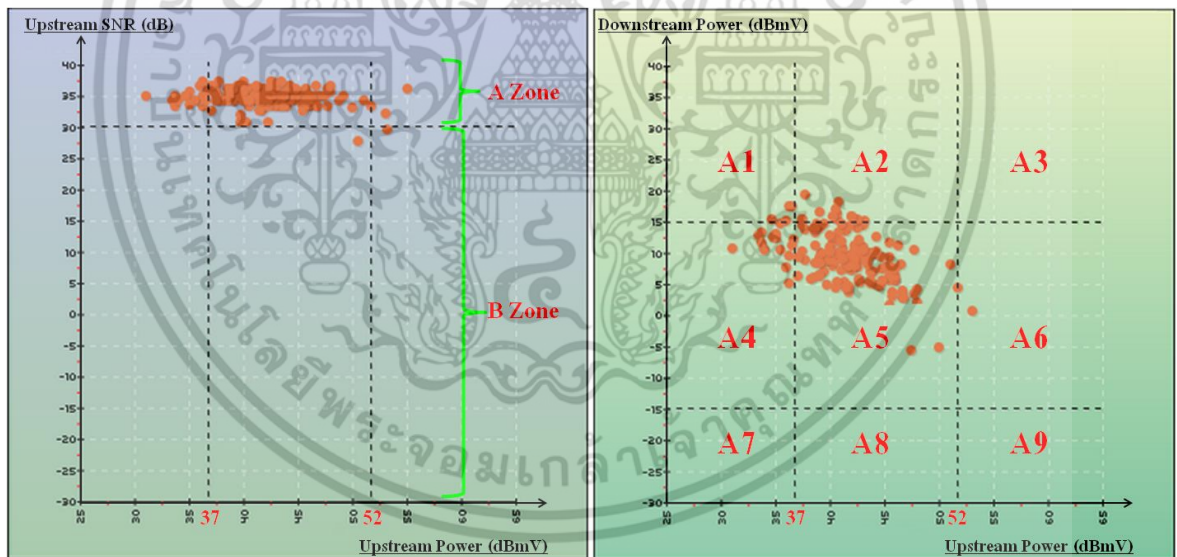
รูปที่ 4.4 ภาพ 4.2 บนระนาบ 2 มิติ ระหว่างกำลังส่งอัปสตรีม และอัตราส่วนสัญญาณส่งอัปสตรีมต่อสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจุดแต่ละจุดบนกราฟ 3 มิติ จะแทนสถานะค่าสัญญาณของเคเบิลโมเด็มหนึ่งตัว โดยซีเอ็มทีเอสจะทำการดึงข้อมูลค่ากำลังส่งดาวนสตรีมและกำลังส่งอัพสตรีมจากเคเบิลโมเด็มในช่วงเวลาหนึ่ง เมื่อรวมกับค่าอัตราส่วนสัญญาณอัพสตรีมต่อสัญญาณรบกวนซึ่งถูกเก็บค่าไว้ที่ซีเอ็มทีเอส จึงสามารถพล็อตค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ส่วน เป็นพิกัดบนกราฟ 3 มิติ โดยพื้นที่บนกราฟ 3 มิติจะถูกแบ่งออกเป็น 2 โซน โซนละ 9 พื้นที่ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 พารามิเตอร์สำหรับออกแบบเครือข่าย

4.4 การวิเคราะห์คุณภาพการให้บริการเคเบิลโมเด็มผ่านเครือข่ายเฮชเอฟซี

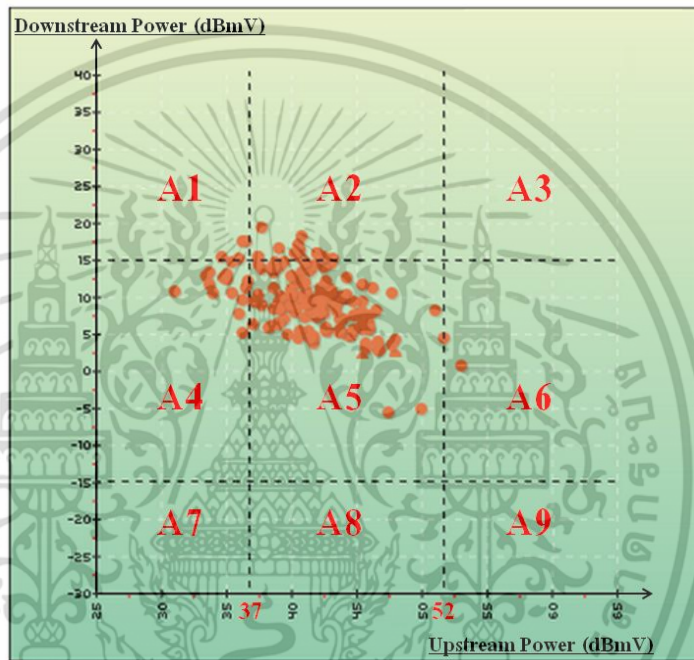
ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการให้บริการเคเบิลโมเด็มผ่านเครือข่ายเฮชเอฟซีนั้น ขั้นแรกคือการใช้ค่าพารามิเตอร์ อัตราส่วนสัญญาณอัพสตรีมต่อสัญญาณรบกวน (US-SNR) ที่มีค่าเท่ากับ 30 dB แบ่งสถานะข้อมูลค่าสัญญาณที่ได้จากเคเบิลโมเด็มแต่ละตัว โดยแบ่งกราฟ 3 มิติออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือโซน A ซึ่งเป็นโซนที่ข้อมูลค่าอัตราส่วนสัญญาณอัพสตรีมต่อสัญญาณรบกวนของเคเบิลโมเด็มแต่ละตัวมีค่ามากกว่า 30 dB และส่วนที่สองคือโซน B ซึ่งเป็นโซนที่ค่าอัตราส่วนสัญญาณอัพสตรีมต่อสัญญาณรบกวนของเคเบิลโมเด็มแต่ละตัวมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 30 dB ดังแสดง ในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การแบ่งพื้นที่โดยใช้อัตราส่วนสัญญาณอัพสตรีมต่อสัญญาณรบกวน (ซ้าย) ค่า Upstream SNR ที่เท่ากับ 30 dB ใช้แบ่งข้อมูลค่าสัญญาณจากเคเบิลโมเด็มออกเป็นสองโซน คือ โซน A และ โซน B (ขวา) โซน A เป็นโซนพื้นที่ที่มีค่า Upstream SNR สูงกว่า 30 dB

4.4.1 โชน A และพื้นที่ A1 ถึง A9

โชน A คือ โชนที่ค่าอัตราส่วนสัญญาณอพสตรีมต่อสัญญาณรบกวนจากเคเบิลโมเด็มแต่ละตัว ซึ่งถูกส่งสัญญาณย้อนกลับไปยังอุปกรณ์ซีเอ็มทีเอสผ่านช่องสัญญาณอพสตรีม มีค่ามากกว่า 30 dB ถ้าเคเบิลโมเด็มส่วนใหญ่ภายในออปติคัลโหนดใดมีค่าอัตราส่วนสัญญาณอพสตรีมต่อสัญญาณรบกวนอยู่ในโชนนี้ จะเป็นการบ่งบอกถึงประสิทธิภาพที่ดีของเครือข่ายเฮชเอฟซีในออปติคัลโหนดนั้น ในแง่ของเครือข่ายที่ปราศจากสัญญาณรบกวนหรือมีสัญญาณรบกวนเข้ามาในเครือข่ายในระดับต่ำ



รูปที่ 4.6 แผนภาพพื้นที่ A1 ถึง A9 ภายในโชน A

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.6 ภายในโชน A เราสามารถใช้ค่าระดับกำลังส่งสัญญาณดาวนสตรีมในช่วง -15 dBmV ถึง +15 dBmV และใช้ค่ากำลังส่งสัญญาณอพสตรีมในช่วง 37 ถึง 52 dBmV ในการแบ่งพื้นที่ภายในโชน A ออกเป็น 9 ส่วน ดังนี้

A1 เป็นพื้นที่ที่มีกำลังส่งดาวนสตรีมสูงและกำลังส่งอพสตรีมมีต่ำ ซึ่งมักจะเกิดจากระยะของสายดรอพเคเบิล (drop wire cable) จากอุปกรณ์แยกสัญญาณไปยังเคเบิลโมเด็มมีระยะสายสั้น

A2 เป็นพื้นที่ที่กำลังส่งอพสตรีมอยู่ในช่วงที่กำหนด แต่กำลังส่งดาวนสตรีมสูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระดับความแรงของสัญญาณขาหลังที่ใช้ในการสื่อสาร ไม่ได้ถูกปรับความแรงของสัญญาณที่อุปกรณ์ขยายสัญญาณให้อยู่ในระดับที่สมดุลตามเกณฑ์ที่กำหนด

A3 เป็นพื้นที่ที่ทั้งกำลังส่งดาวนส์ตรีมและกำลังส่งอัปสตรีมมีค่าสูงเกินกว่าระดับที่กำหนด โดยค่ากำลังส่งที่สูงเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด แสดงถึงการสื่อสารผ่านเครือข่ายที่ไม่ได้ถูกปรับความแรงของสัญญาณในอุปกรณ์ขยายสัญญาณให้อยู่ในระดับที่สมดุลตามเกณฑ์ที่กำหนด

A4 เป็นพื้นที่ที่กำลังส่งดาวนส์ตรีมอยู่ในช่วงที่กำหนด แต่กำลังส่งอัปสตรีมมีพลังงานต่ำเกินไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระดับความแรงของสัญญาณขาขึ้นที่ใช้ในการสื่อสารไม่ได้ถูกปรับความแรงของสัญญาณที่อุปกรณ์ขยายสัญญาณให้อยู่ในระดับที่สมดุลตามเกณฑ์ที่กำหนด

A5 เป็นพื้นที่ที่การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ซีเอ็มทีเอสและเคเบิลโมเด็ม มีค่าความแรงของกำลังส่งสัญญาณอัปสตรีมและกำลังส่งดาวนส์ตรีมอยู่ในระดับที่เหมาะสมตามเกณฑ์ของเครือข่ายเฮอเอฟซีที่กำหนดโดยเราจะใช้พื้นที่ A5 ในการบ่งบอกประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายเฮอเอฟซี ที่เป็นที่ยอมรับและอยู่ในเงื่อนไขที่กำหนดสำหรับการสื่อสารผ่านเครือข่ายเฮอเอฟซีที่มีประสิทธิภาพ

A6 เป็นพื้นที่ที่กำลังส่งอัปสตรีม มีพลังงานสูงเกินกว่าเกณฑ์ที่ควรเป็น จะเกิดขึ้นเมื่อช่องสัญญาณขาขึ้นมีการสูญเสียที่สูง ซึ่งทำให้เกิดปัญหาทั้งในเครือข่ายไฟเบอร์ออปติก และอุปกรณ์ขยายสัญญาณ กรณีดังกล่าวทำให้โมเด็มต้องเพิ่มกำลังส่งอัปสตรีมเพื่อชดเชยค่าการสูญเสีย ซึ่งการเพิ่มกำลังส่งอาจส่งผลให้เคเบิลโมเด็มรีบูตตัวเอง, เกิดปัญหาความเร็วในการสื่อสารข้อมูลที่ต่ำ และปัญหาอื่นๆ

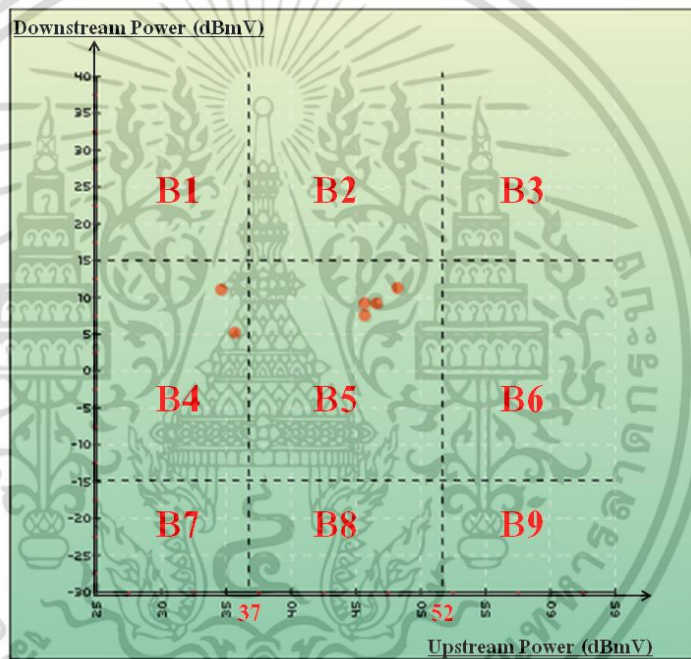
A7 เป็นพื้นที่ที่ทั้งกำลังส่งดาวนส์ตรีมและกำลังส่งอัปสตรีมมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด โดยค่ากำลังส่งที่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด แสดงถึงการสื่อสารผ่านเครือข่ายที่ไม่ได้ถูกปรับความแรงของสัญญาณในอุปกรณ์ขยายสัญญาณให้อยู่ในระดับที่สมดุลตามเกณฑ์ที่กำหนด

A8 เป็นพื้นที่ที่กำลังส่งดาวนส์ตรีมต่ำ แต่กำลังส่งอัปสตรีมอยู่ในช่วงที่กำหนด ซึ่งระดับที่ต่ำของสัญญาณดาวนส์ตรีมจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเคเบิลโมเด็ม เช่น ทำให้เกิดปัญหาความเร็วในการใช้งานอินเทอร์เน็ตที่ต่ำ, เคเบิลโมเด็มขาดการเชื่อมต่อ และปัญหาอื่นๆ อีกทั้งยังแสดงให้เห็นว่าระดับความแรงของสัญญาณขาลงที่ใช้ในการสื่อสารไม่ได้ถูกปรับความแรงของสัญญาณที่อุปกรณ์ขยายสัญญาณให้อยู่ในระดับที่สมดุลตามเกณฑ์ที่กำหนด

A9 เป็นพื้นที่ที่กำลังส่งอัปสตรีมมีพลังงานสูง และกำลังส่งดาวนส์ตรีมมีพลังงานอยู่ในระดับต่ำ อาจเกิดขึ้นได้จากระยะของสายดรออปเคเบิลจนถึงเคเบิลโมเด็มมีระยะที่ยาว ทำให้เคเบิลโมเด็มต้องปรับกำลังส่งอัปสตรีมให้สูงขึ้นเพื่อชดเชยการสูญเสียที่สูง หรืออาจเกิดขึ้นได้จากไม่ได้ถูกปรับความแรงของสัญญาณที่อุปกรณ์ขยายสัญญาณให้อยู่ในระดับที่สมดุลตามเกณฑ์ที่กำหนด

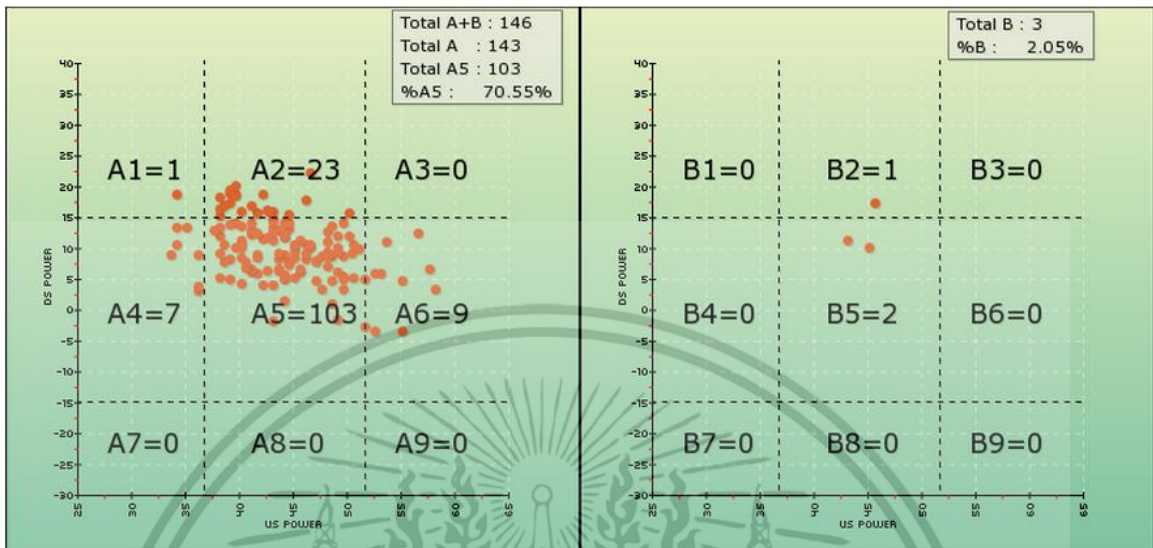
4.4.2 โชน B

โชน B คือ โชนที่ค่าอัตราส่วนสัญญาณอัปสตรีมต่อสัญญาณรบกวน ซึ่งเคเบิลโมเด็มส่งสัญญาณอัปสตรีมย้อนกลับไปยังอุปกรณ์ซีเอ็มทีเอสผ่านช่องสัญญาณอัปสตรีม มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 30 dB ถ้าเคเบิลโมเด็มส่วนใหญ่ภายในอปติคัลโหนดใดมีค่าอัตราส่วนสัญญาณอัปสตรีมต่อสัญญาณรบกวนอยู่ในโชน B จะเป็นการแสดงถึงการมีสัญญาณรบกวนและเกิดการแทรกสอดเข้ามาภายในช่องสัญญาณอัปสตรีมผ่านเครือข่ายเฮอเพซีในอปติคัลโหนดนั้น (ในย่านความถี่อัปสตรีม 5 ถึง 50 MHz) ดังนั้นภายในเครือข่ายเฮอเพซีที่มีประสิทธิภาพ ควรมีจำนวนของเคเบิลโมเด็มที่อยู่ภายในโชน B เท่ากับศูนย์หรือมีน้อยที่สุด



รูปที่ 4.7 แผนภาพโชน B ซึ่งเคเบิลโมเด็มมีค่า US-SNR น้อยกว่าหรือเท่ากับ 30 dB

4.5 การวัดคุณภาพการให้บริการเคเบิลโมเด็มด้วยตัวชี้วัดเครือข่าย



รูปที่ 4.8 แผนภาพจำนวนเคเบิลโมเด็มในโซน A และโซน B ในหนึ่งออปติคัลโหนด

ในการวัดคุณภาพการให้บริการเคเบิลโมเด็มผ่านเครือข่ายเฮฟเอพซีนั้น สามารถแบ่งการวัดคุณภาพการให้บริการออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือ การวัดคุณภาพด้านสัญญาณรบกวน สามารถวัดได้โดยใช้ปริมาณร้อยละของจำนวนเคเบิลโมเด็มทั้งหมดที่ตกอยู่ภายใต้โซน B ตามสมการที่ (4.1)

$$\% B = \frac{\text{จำนวนเคเบิลโมเด็มในโซน } B \times 100\%}{\text{จำนวนเคเบิลโมเด็มทั้งหมดภายใต้การให้บริการ}} \tag{4.1}$$

จากรูปที่ 4.8 ภายในหนึ่งออปติคัลโหนดซึ่งให้บริการเคเบิลโมเด็ม ณ ช่วงเวลาหนึ่งแก่ลูกค้าจำนวน 146 ราย (จำนวนโมเด็มที่อยู่ในโซน A และ B) พบว่ามีเคเบิลโมเด็มจำนวน 3 โมเด็มที่ตกอยู่ภายใต้โซน B (โมเด็มมีค่าอัตราส่วนสัญญาณอพสตรีมต่อสัญญาณรบกวน ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 30 dB) ดังนั้นเมื่อคำนวณตามสมการที่ 4.1 เพื่อวัดคุณภาพด้านสัญญาณรบกวนของออปติคัลโหนดนี้ จึงพบว่ามีเปอร์เซ็นต์ B เท่ากับ 2.05 เปอร์เซ็นต์ โดยเปอร์เซ็นต์ของโซน B จะช่วยชี้ให้เห็นถึงปัญหาสัญญาณรบกวนภายใต้ออปติคัลโหนด ถ้าเปอร์เซ็นต์ของเคเบิลโมเด็มที่ตกในโซน B มีค่าสูง จะแสดงถึงการมีสัญญาณรบกวนเข้ามาในเครือข่ายเฮฟเอพซีในช่องสัญญาณขาขึ้นหรือช่องสัญญาณอพสตรีมในปริมาณมาก ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพการให้บริการเคเบิลโมเด็ม

ส่วนที่สองคือ การวัดคุณภาพด้านระดับความสมดุลของความแรงสัญญาณ สามารถวัดได้โดยใช้ ปริมาณร้อยละของจำนวนเคเบิลโมเด็มทั้งหมดที่ตกอยู่ภายใต้พื้นที่ A5 ภายในโซน A ตามสมการที่ (4.2)

$$\% A5 = \frac{\text{จำนวนเคเบิลโมเด็มในพื้นที่ A5} \times 100\%}{\text{จำนวนเคเบิลโมเด็มทั้งหมดภายใต้การให้บริการ}} \quad (4.2)$$

จากรูปที่ 4.8 พิจารณาภายในโซน A พบว่ามีเคเบิลโมเด็มจำนวน 143 โมเด็มที่ตกอยู่ภายใต้โซน A และมีจำนวน 103 โมเด็ม ที่มีค่าความแรงของสัญญาณทั้งดาวนสตรีมและอัปสตรีมตกอยู่ภายในพื้นที่ A5 ดังนั้นเมื่อกำหนดตามสมการที่ 4.2 เพื่อวัดคุณภาพด้านระดับความสมดุลของความแรงสัญญาณที่ให้บริการในอปติคอลโหนดนี้ จึงพบว่ามีเปอร์เซ็นต์ A5 เท่ากับ 70.55 เปอร์เซ็นต์

ถ้าเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ A5 ในแต่ละอปติคอลโหนดมีค่าสูง จะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของ เครือข่ายเฮชเอฟซีที่ดี โดยเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ A5 ควรจะมีค่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเครือข่าย เฮชเอฟซีที่มีคุณภาพ และเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ A5 ยังเป็นตัวเลขที่สะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพการทำงาน ของเครือข่าย โดยดูจากค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพทั้ง 3 ตัว และสามารถใช้ในการเปรียบเทียบ ระหว่างพื้นที่ที่ให้บริการ จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง รวมทั้งสามารถจัดลำดับเพื่อหาอปติคอลโหนดที่มี ประสิทธิภาพดีที่สุด และประสิทธิภาพต่ำที่สุดเพื่อทำการปรับปรุงในเชิงรุกต่อไป

4.1 สรุป

วิทยานิพนธ์ในบทนี้ได้กล่าวถึงการออกแบบตัวชี้วัดเครือข่ายเฮชเอฟซี จากพารามิเตอร์ 3 พารามิเตอร์ ที่เกิดขึ้นในระกวางการสื่อสารข้อมูลระหว่าง ซีเอ็มทีเอส (CMTS) และเคเบิลโมเด็ม (cable modem) โดยใช้เกณฑ์ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เพื่อสร้างเป็นตัวชี้วัดเครือข่าย A5 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสมดุลของกำลังส่งดาวนสตรีมและอัปสตรีม และตัวชี้วัดเครือข่าย B ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเข้ามาของสัญญาณรบกวนภายในเครือข่ายเฮชเอฟซีที่ให้บริการ

บทที่ 5

การวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์

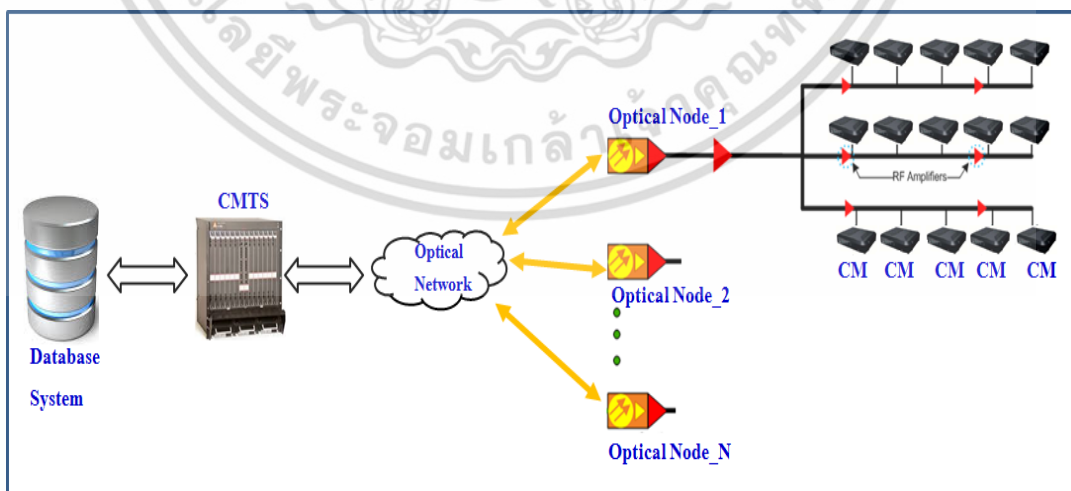
5.1 กล่าวนำ

วิทยานิพนธ์ในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการเก็บรวบรวมข้อมูล และการนำข้อมูลที่ได้รับมาทำการวิเคราะห์คุณภาพการให้บริการเคเบิลโมเด็มผ่านเครือข่ายเฮชเอฟซี ที่เป็นไปตามมาตรฐาน DOCSIS โดยทำการวิเคราะห์ทั้งในแง่ของความสมดุลของกำลังสัญญาณ และในแง่ของสัญญาณรบกวนที่เข้ามาภายในเครือข่าย

5.2 กระบวนการเก็บรวบรวมพารามิเตอร์และการคำนวณตัวชี้วัด

5.2.1 กระบวนการเก็บรวบรวมพารามิเตอร์

ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ค่า ซึ่งได้แก่ กำลังส่งดาวนสตรีม (Downstream power), กำลังส่งอัปสตรีม (Upstream power) และอัตราส่วนสัญญาณอัปสตรีมต่อสัญญาณรบกวน (Upstream SNR) ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการให้บริการเคเบิลโมเด็มบนเครือข่ายเฮชเอฟซี จะถูกเก็บรวบรวมจากทั้งที่ตัวเคเบิลโมเด็มและที่อุปกรณ์ปลายทางของเคเบิลโมเด็ม หรือซีเอ็มทีเอส (CMTS) ซึ่งมีการสื่อสารกันผ่านแต่ละอปติคัลโหนด (optical node) โดยค่าพารามิเตอร์ที่ได้รับจะถูกเก็บรวบรวมไว้ภายในระบบฐานข้อมูล (Database system) และถูกนำมาคำนวณเป็นตัวชี้วัดเครือข่าย โดยสามารถแสดงรูปแบบการเก็บข้อมูลพารามิเตอร์ได้ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 การเก็บรวบรวมค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ค่า จากแต่ละพื้นที่ที่ให้บริการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

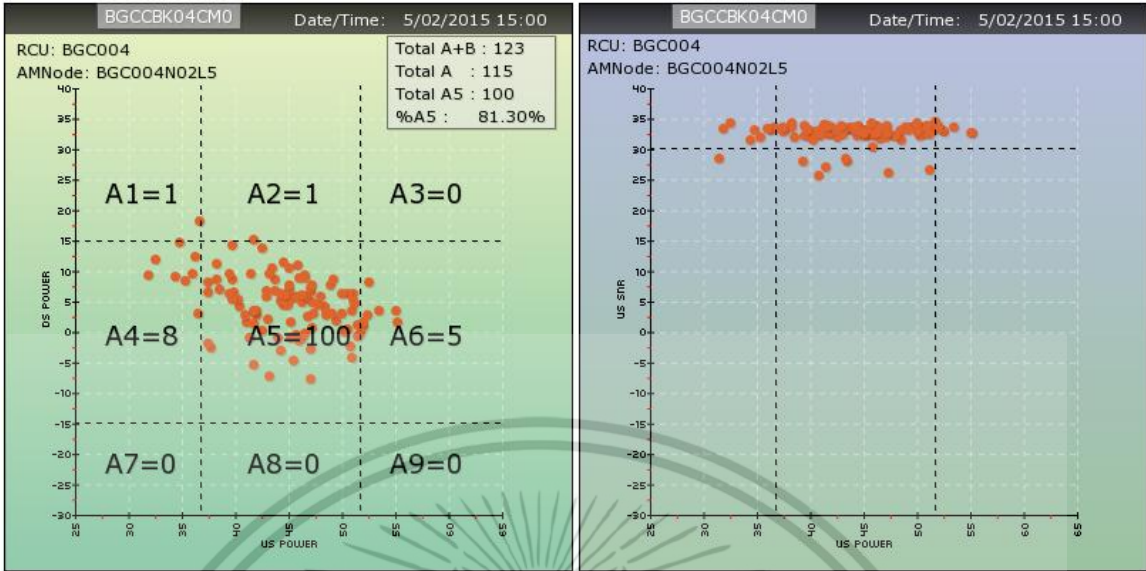
จากรูปที่ 5.1 ระบบฐานข้อมูลจะทำการส่งคำสั่งไปยังอุปกรณ์ซีเอ็มทีเอส (CMTS) เพื่อให้อุปกรณ์ซีเอ็มทีเอส ทำการดึงค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ค่า จากแต่ละเคเบิลโมเด็ม ซึ่งอยู่ภายในแต่ละอปติคอลโหนด (optical node) โดยซีเอ็มทีเอสจะทำการดึงค่าพารามิเตอร์ ทุกๆ 1 ชั่วโมง หรือจำนวน 24 ครั้งใน 1 วัน ซึ่งค่าของพารามิเตอร์ทั้ง 3 ค่า ได้แก่ กำลังส่งดาวนสตรีม, กำลังส่งอัพสตรีม และ อัตราส่วนสัญญาณอัพสตรีมต่อสัญญาณรบกวน จะถูกส่งผ่านซีเอ็มทีเอสไปเก็บไว้ที่ระบบฐานข้อมูล เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวเข้าสู่กระบวนการคำนวณเป็นตัวชี้วัดคุณภาพของเครือข่ายที่ต้องการ ได้แก่ ตัวชี้วัดเครือข่าย A5 และตัวชี้วัดเครือข่าย B และใช้ข้อมูลดังกล่าวในการวิเคราะห์คุณภาพของเครือข่ายในแต่ละอปติคอลโหนด ที่อยู่ภายใต้การให้บริการของซีเอ็มทีเอสเดียวกัน

ตารางที่ 5.1 ตัวอย่างพารามิเตอร์ทั้ง 3 ค่าจากอปติคอลโหนด BGC004N02L5

Optical Node Name	No.	Cable Modem (mac-address)	Downstream Power (dBmV)	Upstream Power (dBmV)	Upstream SNR (dB)
BGC004N02L5	1	88:f7:c7:1a:d2:2e	5.80	45.80	33.20
	2	08:95:2a:70:63:51	11.00	45.90	30.40
	3	a4:a2:4a:55:ae:7e	-4.10	50.90	33.80
	4	e0:88:5d:a0:7a:34	5.60	45.50	32.10
	5	88:f7:c7:86:49:ca	8.60	39.70	32.20
	6	24:76:7d:18:56:64	4.30	48.40	33.00
	7	08:95:2a:66:79:9d	-1.00	46.30	33.50
	8	b0:c2:87:49:94:11	6.60	37.50	33.20
	9	a4:a2:4a:5d:f0:11	6.60	39.90	33.20
	10	a4:a2:4a:5d:c4:b0	9.60	39.40	33.90
	11	a4:a2:4a:57:82:bc	1.50	43.40	27.90
	12	24:76:7d:18:13:11	6.40	39.40	32.10

122	88:f7:c7:83:87:5d	6.30	50.00	32.90	
123	c4:27:95:b3:bd:6b	8.90	39.30	27.90	

จากตารางที่ 5.1 แสดงให้เห็นตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ค่า ซึ่งถูกเก็บไว้ที่ระบบฐานข้อมูลในช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ค่า จะถูกเก็บข้อมูลมาจากเคเบิลโมเด็มที่เชื่อมต่อใช้งานจำนวน 123 โมเด็ม ที่ให้บริการภายใต้อปติคอลโหนดที่ชื่อ BGC004N02L5 และยังสามารถแสดงข้อมูลดังกล่าวในรูปแบบของแผนภาพ 2 มิติ ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสมดุลของกำลังงานอัพสตรีมและดาวนสตรีม และแสดงให้เห็นถึงระดับของสัญญาณรบกวนที่เข้ามารบกวนภายในอปติคอลโหนดในช่วงเวลานั้น ดังแสดงในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากเคเบิลโมเด็มลงในระนาบ 2 มิติ (ซ้าย) แสดงระดับกำลังงานของสัญญาณอัสตริมและดาวนัสตริม (ขวา) แสดงอัตราส่วนสัญญาณส่งอัสตริมต่อสัญญาณรบกวน (US-SNR)

5.2.2 กระบวนการคำนวณตัวชี้วัดเครือข่ายเฮชเอฟซี

หลังจากผ่านกระบวนการเก็บรวบรวมข้อมูลค่าพารามิเตอร์ไปเก็บไว้ที่ระบบฐานข้อมูล ขั้นตอนต่อมา คือการนำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณเป็นตัวชี้วัดเครือข่ายเฮชเอฟซี ได้แก่ ตัวชี้วัดเครือข่าย A5 และตัวชี้วัดเครือข่าย B โดยอ้างอิงจากสมการที่ 4.1 และ 4.2 ในบทที่ 4 และใช้ข้อมูลจากตารางที่ 5.1 จะได้

$$\% B = \frac{\text{จำนวนเคเบิลโมเด็มในโซน } B \times 100\%}{\text{จำนวนเคเบิลโมเด็มทั้งหมดภายใต้การให้บริการ}} = \frac{8 \times 100\%}{123} = 6.50 \%$$

$$\% A5 = \frac{\text{จำนวนเคเบิลโมเด็มในพื้นที่ } A5 \times 100\%}{\text{จำนวนเคเบิลโมเด็มทั้งหมดภายใต้การให้บริการ}} = \frac{100 \times 100\%}{123} = 81.30 \%$$

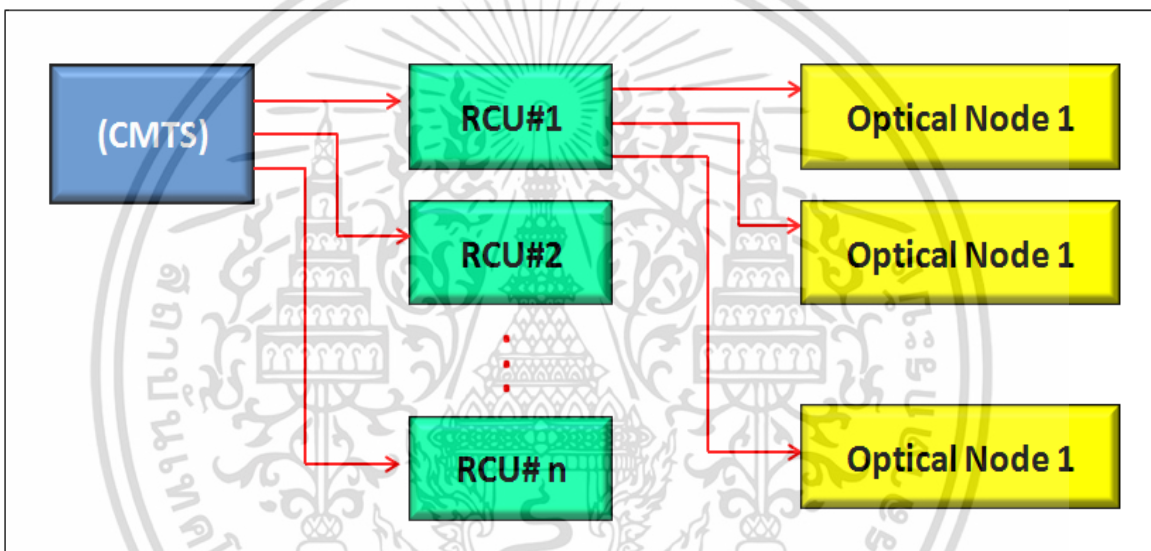
จากการคำนวณข้างต้นทำให้ได้ค่าตัวชี้วัดเครือข่ายของอปติคอลโหนด BGC004N02L5 ในช่วงเวลาที่ดึงข้อมูล คือ เปอร์เซนต์ B และเปอร์เซนต์ A5 เท่ากับ 6.50 และ 81.30 ตามลำดับ

5.3 กระบวนการวิเคราะห์คุณภาพเครือข่ายเฮชเอฟซี

เมื่อผ่านขั้นตอนของกระบวนการเก็บรวบรวมข้อมูลค่าพารามิเตอร์มาเก็บไว้ที่ระบบฐานข้อมูล และกระบวนการคำนวณตัวชี้วัดคุณภาพของเครือข่ายเฮชเอฟซี ลำดับต่อไปคือการนำข้อมูลดังกล่าว มาเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์คุณภาพของเครือข่ายต่อไป โดยในการวิเคราะห์คุณภาพของเครือข่ายเฮชเอฟซี นั้น จะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ระดับ คือ

- การพิจารณาในระดับชุมสายย่อย (RCU) ที่ให้บริการภายใต้ซีเอ็มทีเอสเดียวกัน และ
- การพิจารณาในระดับอปติคอลโหนด (optical node) ที่ให้บริการภายใต้ชุมสายย่อยนั้น

ดังแสดงในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 ลำดับการวิเคราะห์คุณภาพของเครือข่ายเฮชเอฟซี

โดยในวิทยานิพนธ์นี้ จะทำการวิเคราะห์คุณภาพของเครือข่ายในพื้นที่บางชั้น (BGC) ซึ่งมีการให้บริการเคเบิลโมเด็มแก่ผู้ใช้บริการเป็นจำนวนมาก ผ่านเครือข่ายเฮชเอฟซี (HFC network) และให้บริการภายใต้อุปกรณ์ซีเอ็มทีเอส (CMTS) ที่ชื่อ BGCCBK04CM0 ซึ่งจากข้อมูลในระบบฐานข้อมูล ที่เก็บรวบรวมได้จากซีเอ็มทีเอส เมื่อผ่านกระบวนการคำนวณตัวชี้วัดคุณภาพของเครือข่าย สามารถสรุปเป็นข้อมูลคุณภาพของเครือข่ายเฮชเอฟซี ในพื้นที่บางชั้น ได้ดังตารางที่ 5.2

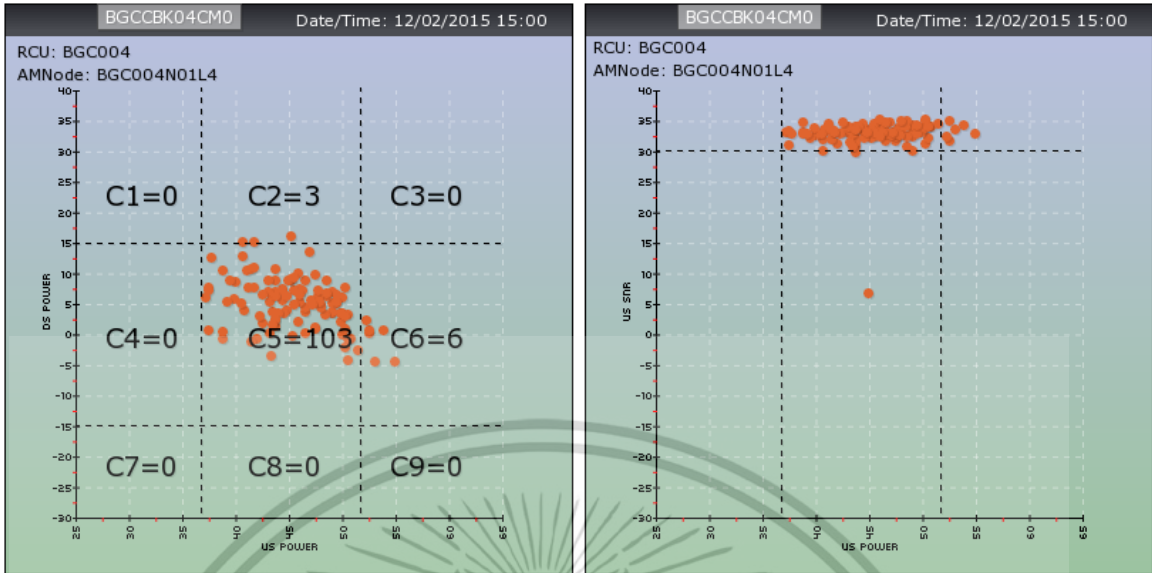
ตารางที่ 5.2 การพิจารณาคุณภาพของเครือข่ายเฮชเอฟซี ของพื้นที่บางชั้น ในระดับชุมสายย่อย

CMTS : BGCCBK04CM0

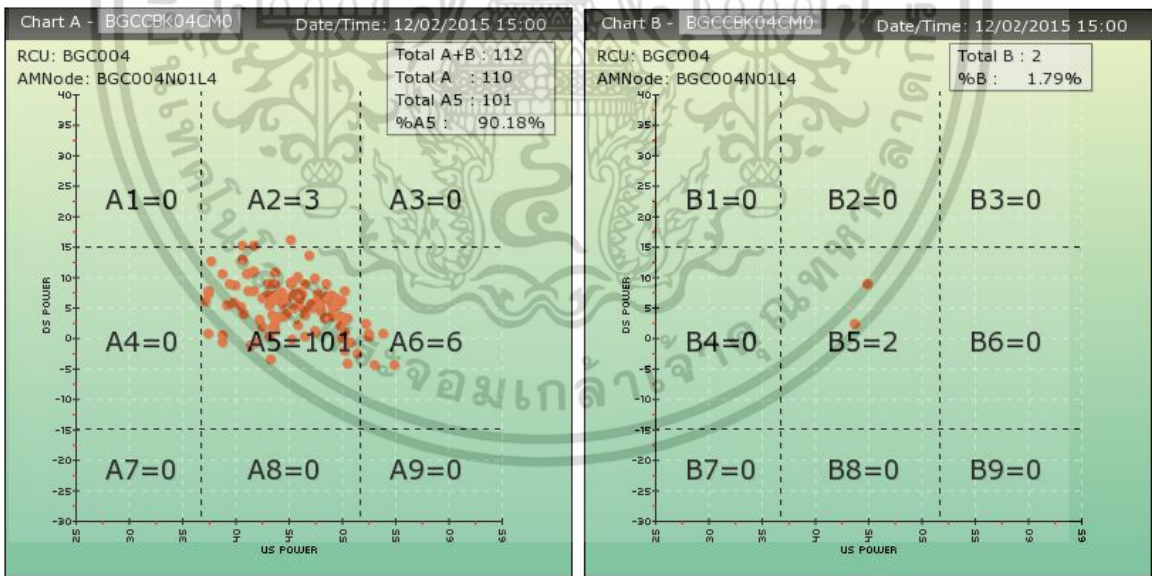
ชุมสายย่อย (RCU)	จำนวนออปติคอลโหนด (Optical Node)	จำนวนเคเบิลโมเด็ม (ที่เชื่อมต่อเครือข่าย)	จำนวนเคเบิลโมเด็ม (ในพื้นที่ A5)	จำนวนเคเบิลโมเด็ม (ในโซน B)	เปอร์เซ็นต์ A5	เปอร์เซ็นต์ B
BGC002	7	608	535	4	87.99%	0.66%
BGC003	12	929	842	5	90.64%	0.54%
BGC004	10	934	798	44	85.44%	4.71%
BGC007	2	204	175	2	85.78%	0.98%
BGC008	7	641	570	10	88.92%	1.56%
BGC017	4	338	305	1	90.24%	0.30%
BGC020	5	275	255	0	92.73%	0.00%
BGC021	5	683	606	2	88.73%	0.29%
Zone BGC	52	4,612	4,086	68	88.59%	1.47%

ตารางที่ 5.2 แสดงข้อมูลการให้บริการเคเบิลโมเด็มผ่านเครือข่ายเฮชเอฟซี ในพื้นที่บางชั้น ซึ่งได้ถูกแบ่งการให้บริการออกเป็น 8 ชุมสายย่อย (RCU) ภายใต้อุปกรณ์ซีเอ็มทีเอส (CMTS) ตัวเดียวกัน คือ BGCCBK04CM0 โดยมีอุปกรณ์เคเบิลโมเด็มที่เชื่อมต่อกับซีเอ็มทีเอสในช่วงเวลาที่ทำกรเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวน 4,612 โมเด็ม และเมื่อนำข้อมูลที่เก็บรวบรวม มาผ่านกระบวนการคำนวณตัวชี้วัดคุณภาพเครือข่าย A5 และ B และทำการเปรียบเทียบในระดับชุมสายย่อย พบว่าคุณภาพการให้บริการเครือข่ายของชุมสายย่อยที่ 4 (BGC004) ซึ่งมีค่าตัวชี้วัดเครือข่าย A5 อยู่ในระดับต่ำ (%A5 = 85.44) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงคุณภาพของเครือข่ายในแง่ของความสมดุลของกำลังสัญญาณทั้งทางด้านอัปสตรีม (upstream) และทางด้านดาวนสตรีม (downstream) ที่ไม่สมดุล และเมื่อพิจารณาตัวชี้วัดเครือข่าย B พบว่ามีระดับที่สูง (%B = 4.71) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการมีสัญญาณรบกวนเข้ามาภายในเครือข่ายของชุมสายย่อยที่ 4 เป็นปริมาณมาก และส่งผลกระทบต่อให้บริการเคเบิลโมเด็ม เช่น ปัญหาหลุดการเชื่อมต่อ, การสูญหายของข้อมูล และอัตราการให้บริการข้อมูลที่ลดลง ซึ่งชุมสายที่ 4 จำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงอย่างเร่งด่วน

เมื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพของเครือข่ายในระดับชุมสายย่อย เพื่อหาชุมสายย่อยที่จะต้องทำการปรับปรุงคุณภาพของเครือข่ายแล้ว ลำดับต่อไป คือการวิเคราะห์ในระดับออปติคอลโหนด (optical node) แต่ละโหนดที่ให้บริการภายใต้ชุมสายย่อย โดยในชุมสายย่อยที่ 4 มีออปติคอลโหนดที่ให้บริการเคเบิลโมเด็มจำนวน 10 ออปติคอลโหนด ให้บริการเคเบิลโมเด็มจำนวน 934 โมเด็ม เมื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพของเครือข่ายจากพารามิเตอร์ กำลังส่งดาวนสตรีม, กำลังส่งอัปสตรีม และอัตราส่วนกำลังส่งอัปสตรีมต่อสัญญาณ ในแต่ละออปติคอลโหนด สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.4 ถึง รูปที่ 5.23

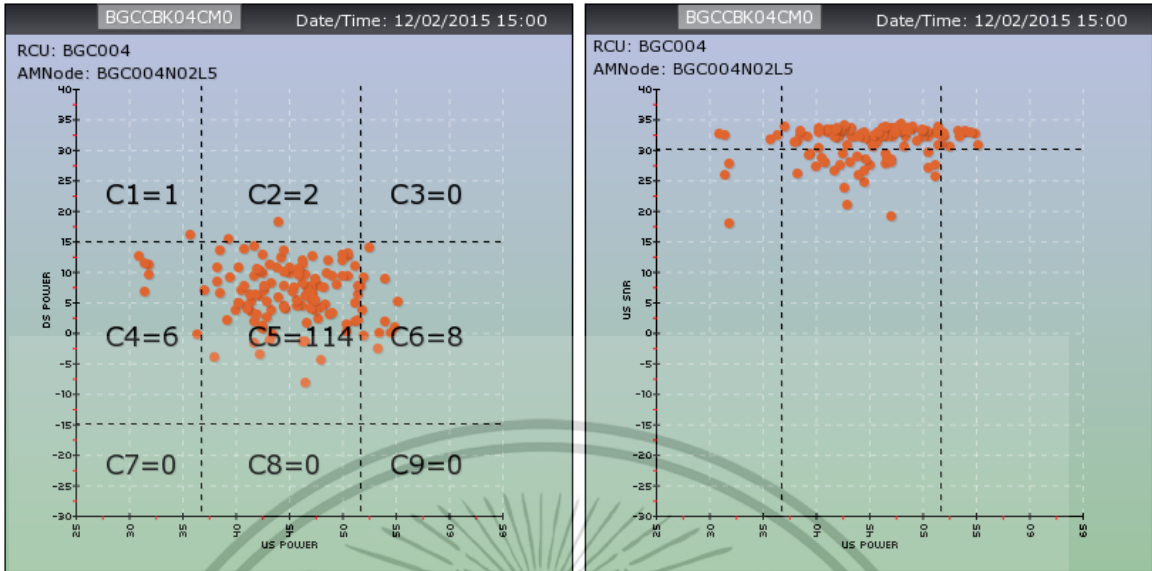


รูปที่ 5.4 ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของเคเบิลโมเด็มในออปติคอลโหนด BGC004 Node 1 (ซ้าย) แสดงกำลังส่งดาว์นสตรีมและอัปสตรีมของเคเบิลโมเด็ม (ขวา) แสดงอัตราส่วนกำลังส่งอัปสตรีมต่อสัญญาณรบกวนของเคเบิลโมเด็ม

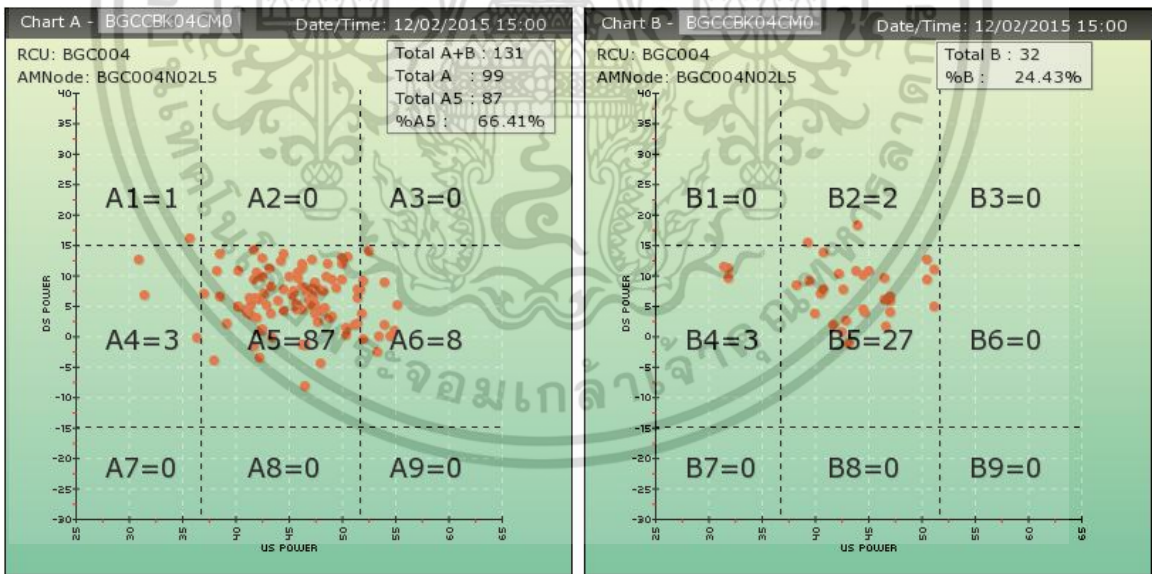


รูปที่ 5.5 พิจารณาตัวชี้วัดเครือข่าย A5 และ B ของออปติคอลโหนด BGC004 Node 1 (ซ้าย) แสดงจำนวนเคเบิลโมเด็ม ที่อยู่ในพื้นที่ A (ขวา) แสดงจำนวนเคเบิลโมเด็ม ที่อยู่ในพื้นที่ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

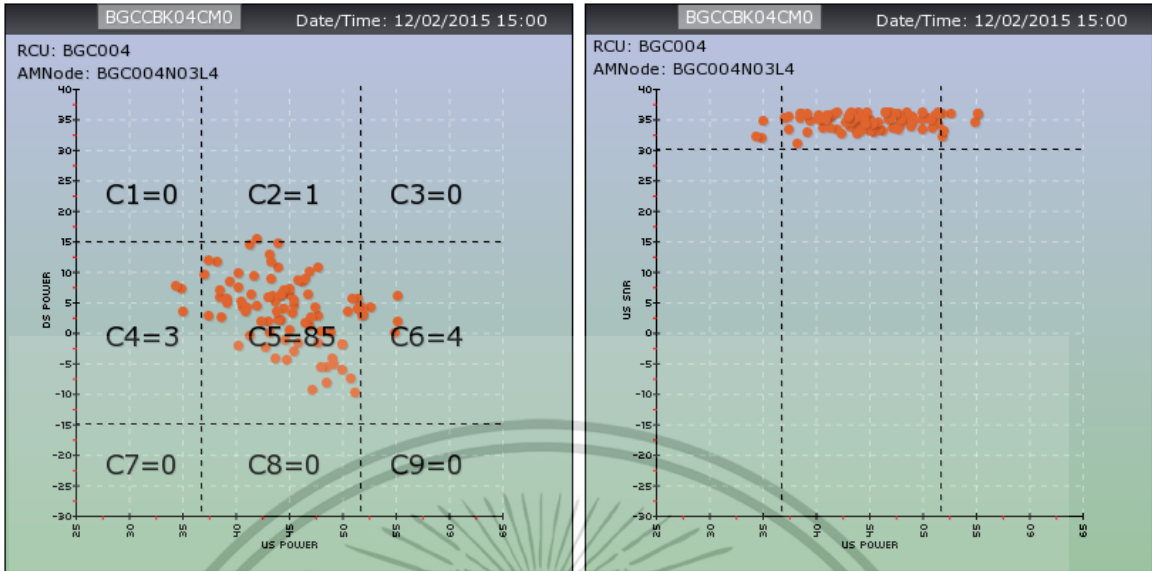


รูปที่ 5.6 ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของเคเบิลโมเด็มในออปติคัลโหนด BGC004 Node 2 (ซ้าย) แสดงกำลังส่งดาว์นสตรีมและอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของเคเบิลโมเด็ม (ขวา) แสดงอัตราส่วนกำลังส่งอัตราส่วนต่อสัญญาณรบกวนของเคเบิลโมเด็ม

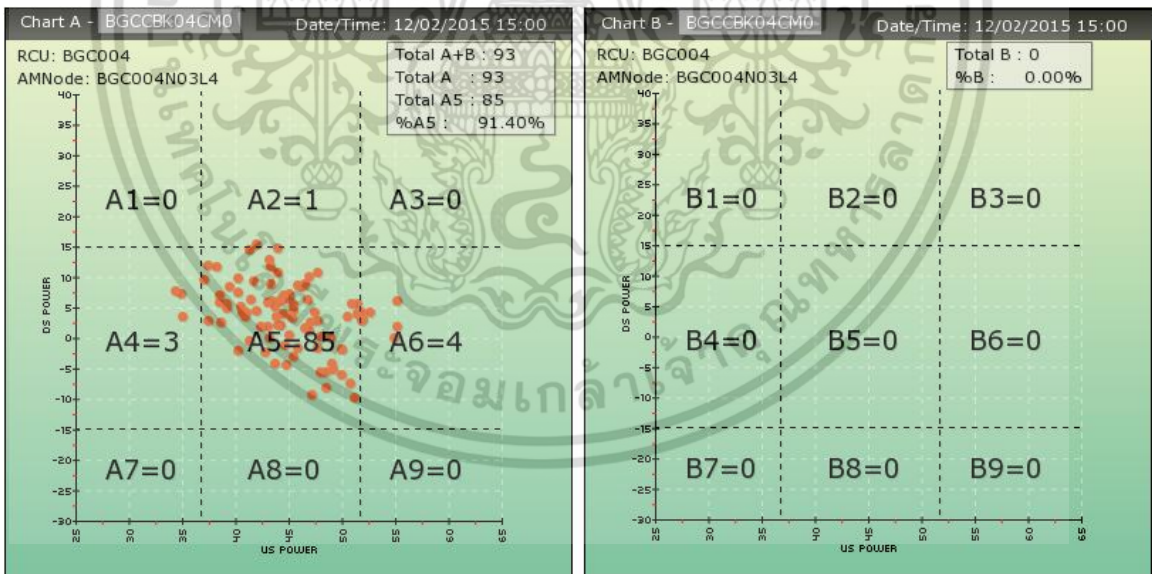


รูปที่ 5.7 พิจารณาตัวชี้วัดเครือข่าย A5 และ B ของออปติคัลโหนด BGC004 Node 2 (ซ้าย) แสดงจำนวนเคเบิลโมเด็ม ที่อยู่ภายในพื้นที่ A (ขวา) แสดงจำนวนเคเบิลโมเด็ม ที่อยู่ภายในพื้นที่ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

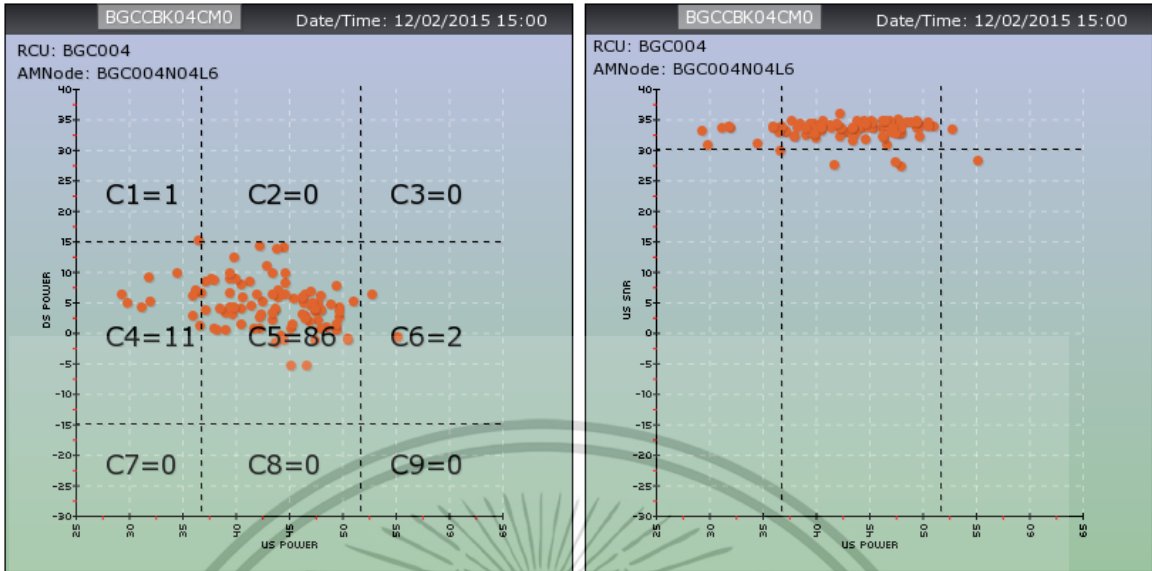


รูปที่ 5.8 ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของเคเบิลโมเด็มในออปติคอลโหนด BGC004 Node 3 (ซ้าย) แสดงกำลังส่งดาว์นสตรีมและอัปสตรีมของเคเบิลโมเด็ม (ขวา) แสดงอัตราส่วนกำลังส่งอัปสตรีมต่อสัญญาณรบกวนของเคเบิลโมเด็ม

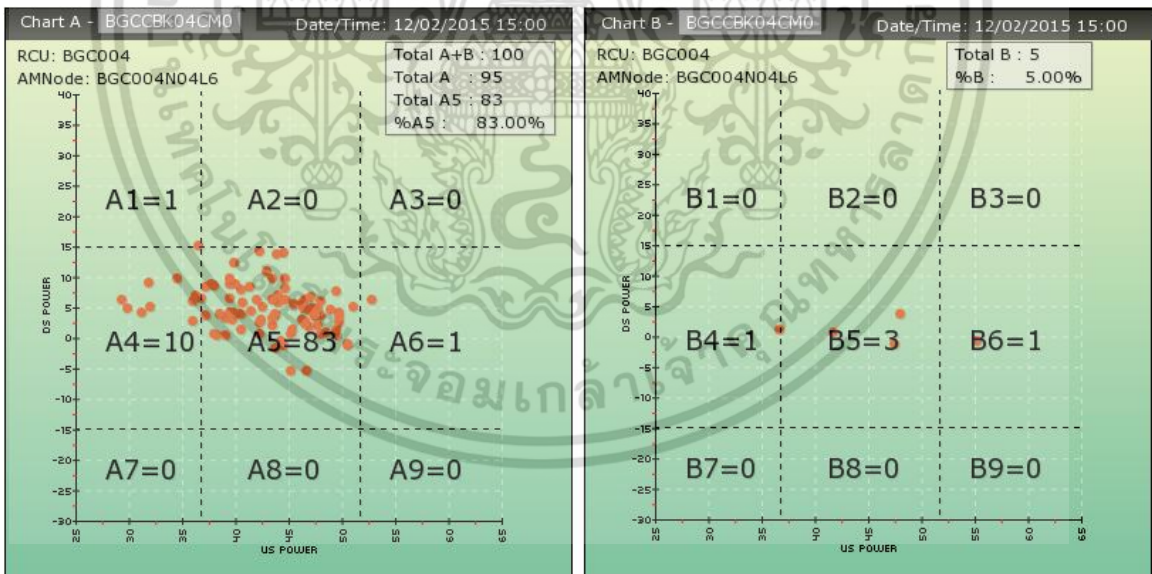


รูปที่ 5.9 พิจารณาตัวชี้วัดเครือข่าย A5 และ B ของออปติคอลโหนด BGC004 Node 3 (ซ้าย) แสดงจำนวนเคเบิลโมเด็ม ที่อยู่ภายในพื้นที่ A (ขวา) แสดงจำนวนเคเบิลโมเด็ม ที่อยู่ภายในพื้นที่ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

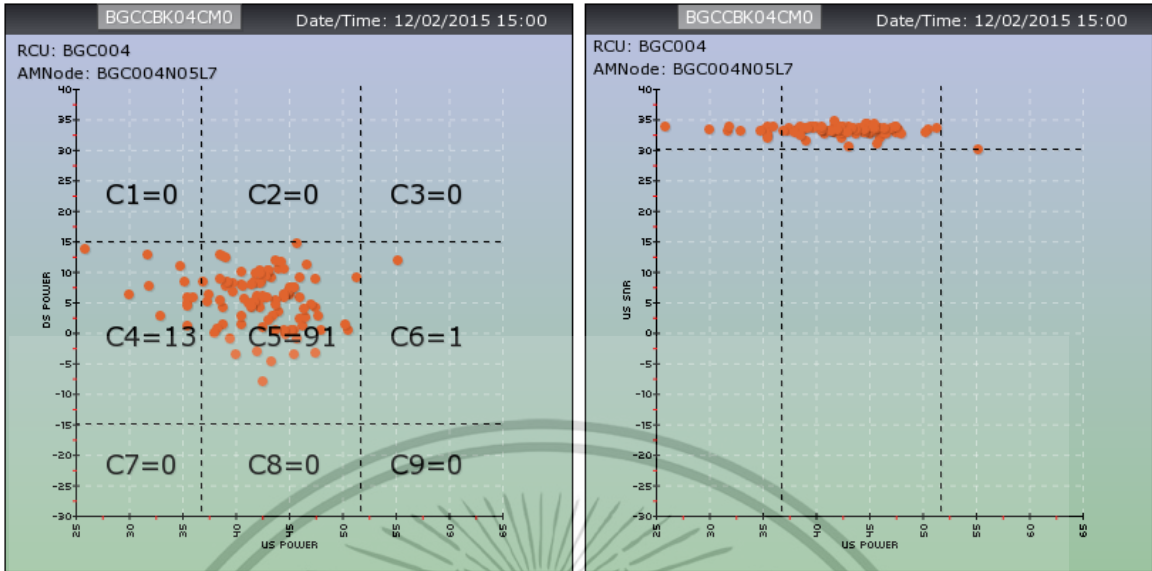


รูปที่ 5.10 ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของเคเบิลโมเด็มในออปติคัลโหนด BGC004 Node 4 (ซ้าย) แสดงกำลังส่งดาวนสตรีมและอัปสตรีมของเคเบิลโมเด็ม (ขวา) แสดงอัตราส่วนกำลังส่งอัปสตรีมต่อสัญญาณรบกวนของเคเบิลโมเด็ม

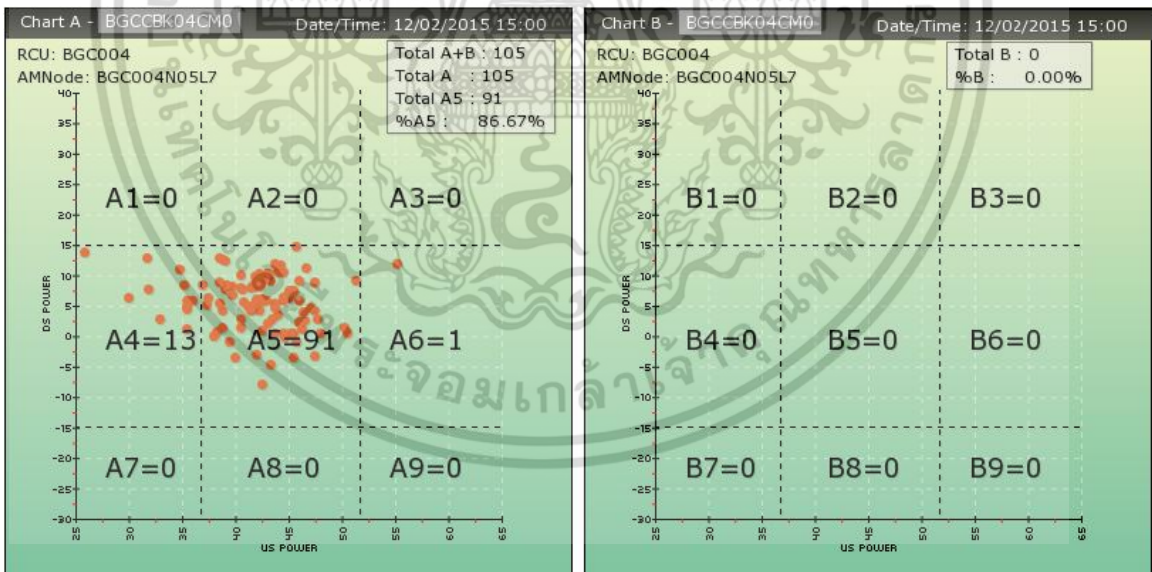


รูปที่ 5.11 พิจารณาตัวชี้วัดเครือข่าย A5 และ B ของออปติคัลโหนด BGC004 Node 4 (ซ้าย) แสดงจำนวนเคเบิลโมเด็ม ที่อยู่ภายในพื้นที่ A (ขวา) แสดงจำนวนเคเบิลโมเด็ม ที่อยู่ภายในพื้นที่ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

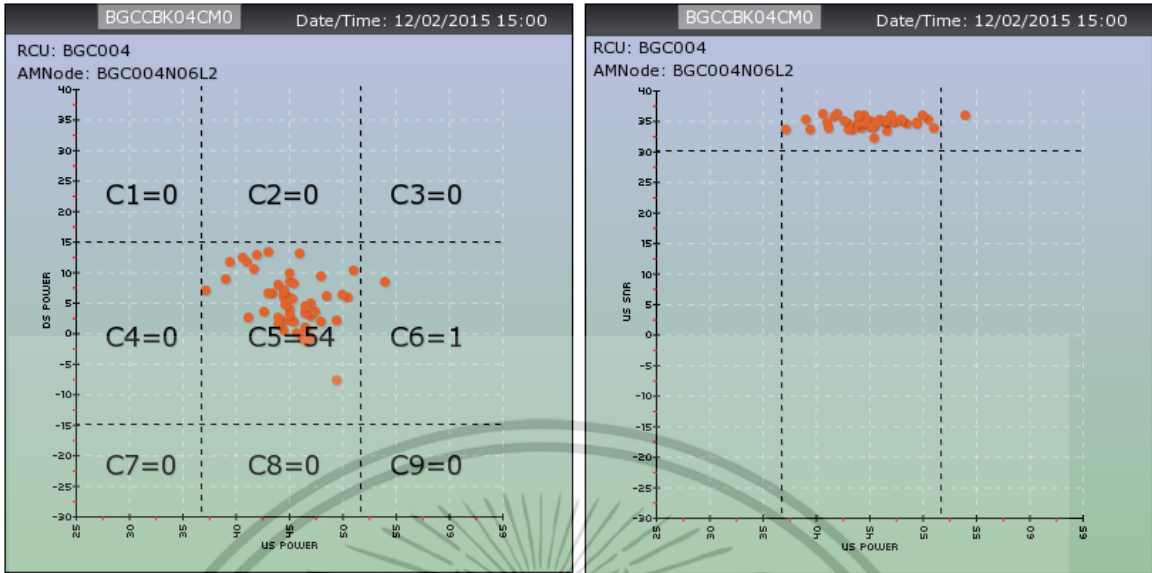


รูปที่ 5.12 ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของเคเบิลโมเด็มในออปติคอลโหนด BGC004 Node 5 (ซ้าย) แสดงกำลังส่งดาวนสตรีมและอัปสตรีมของเคเบิลโมเด็ม (ขวา) แสดงอัตราส่วนกำลังส่งอัปสตรีมต่อสัญญาณรบกวนของเคเบิลโมเด็ม

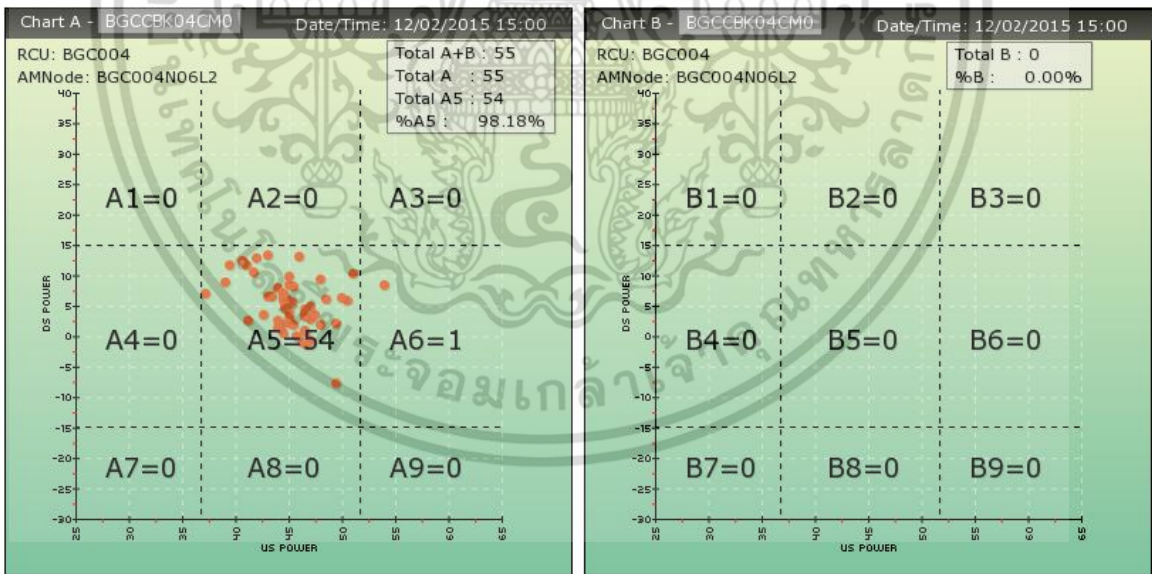


รูปที่ 5.13 พิจารณาตัวชี้วัดเครือข่าย A5 และ B ของออปติคอลโหนด BGC004 Node 5 (ซ้าย) แสดงจำนวนเคเบิลโมเด็ม ที่อยู่ภายในพื้นที่ A (ขวา) แสดงจำนวนเคเบิลโมเด็ม ที่อยู่ภายในพื้นที่ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

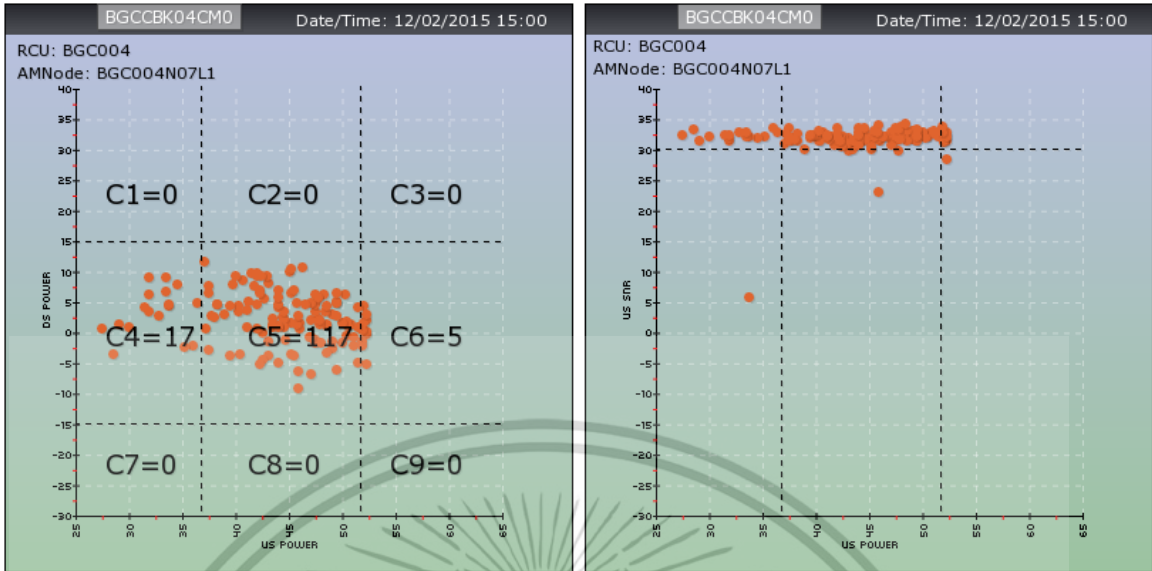


รูปที่ 5.14 ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของเคเบิลโมเด็มในออปติคัลโหนด BGC004 Node 6 (ซ้าย) แสดงกำลังส่งดาวนีสตรีมและอัปสตรีมของเคเบิลโมเด็ม (ขวา) แสดงอัตราส่วนกำลังส่งอัปสตรีมต่อสัญญาณรบกวนของเคเบิลโมเด็ม

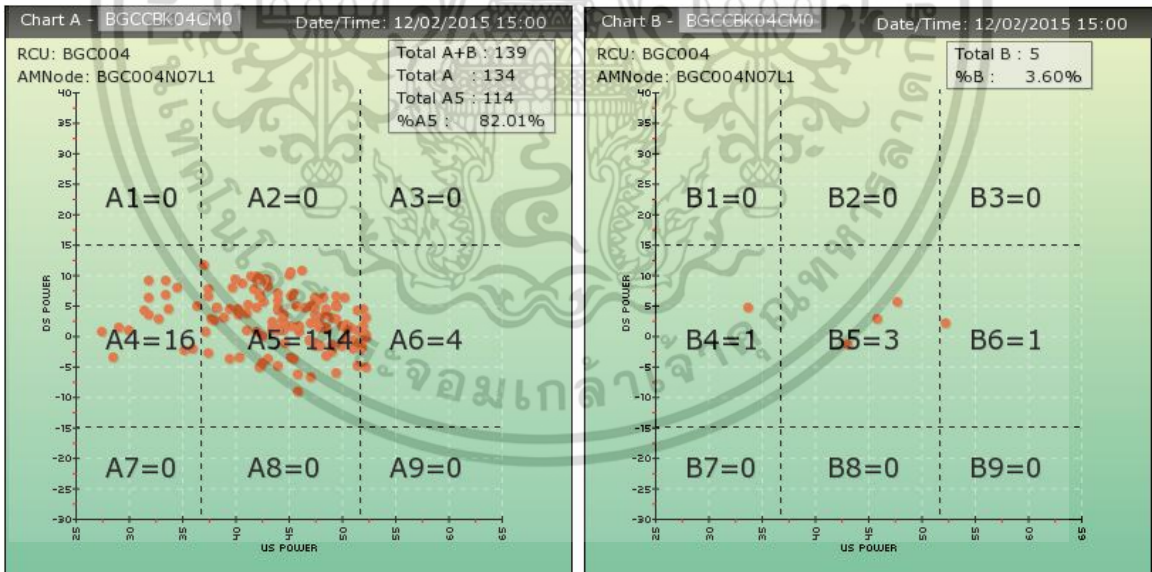


รูปที่ 5.15 พิจารณาตัวชี้วัดเครือข่าย A5 และ B ของออปติคัลโหนด BGC004 Node 6 (ซ้าย) แสดงจำนวนเคเบิลโมเด็ม ที่อยู่ภายในพื้นที่ A (ขวา) แสดงจำนวนเคเบิลโมเด็ม ที่อยู่ภายในพื้นที่ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

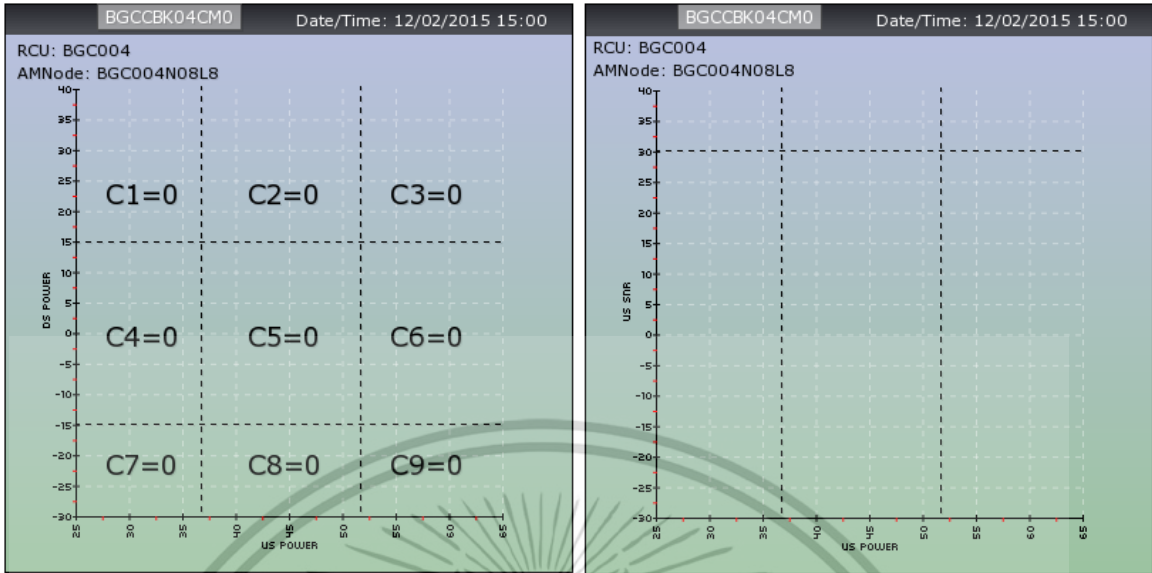


รูปที่ 5.16 ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของเคเบิลโมเด็มในออปติคัลโหนด BGC004 Node 7 (ซ้าย) แสดงกำลังส่งดาวนสตรีมและอัปสตรีมของเคเบิลโมเด็ม (ขวา) แสดงอัตราส่วนกำลังส่งอัปสตรีมต่อสัญญาณรบกวนของเคเบิลโมเด็ม

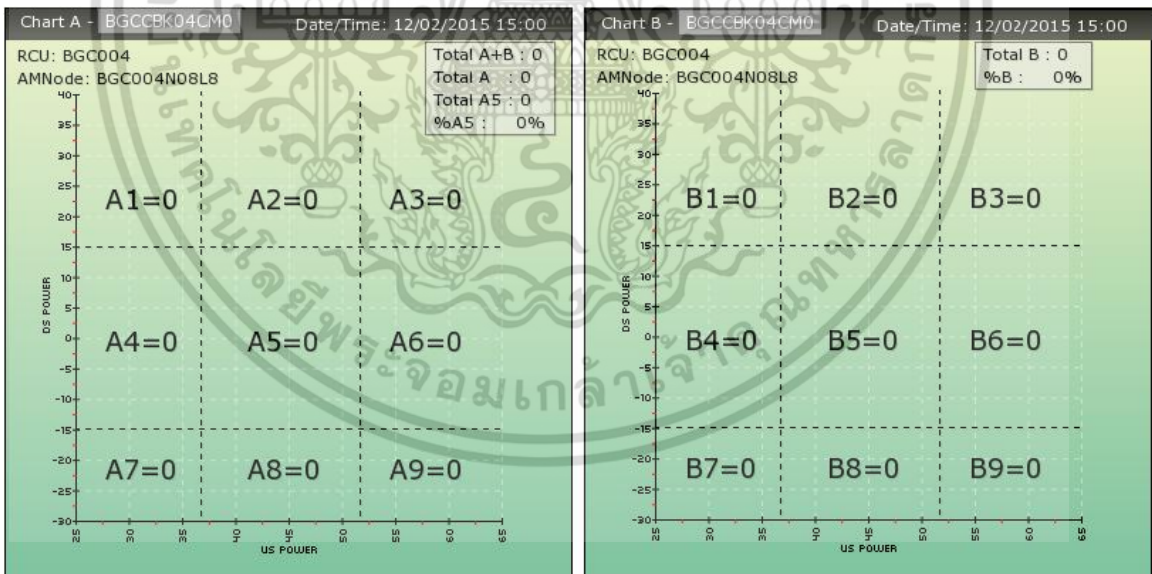


รูปที่ 5.17 พิจารณาตัวชี้วัดเครือข่าย A5 และ B ของออปติคัลโหนด BGC004 Node 7 (ซ้าย) แสดงจำนวนเคเบิลโมเด็ม ที่อยู่ภายในพื้นที่ A (ขวา) แสดงจำนวนเคเบิลโมเด็ม ที่อยู่ภายในพื้นที่ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

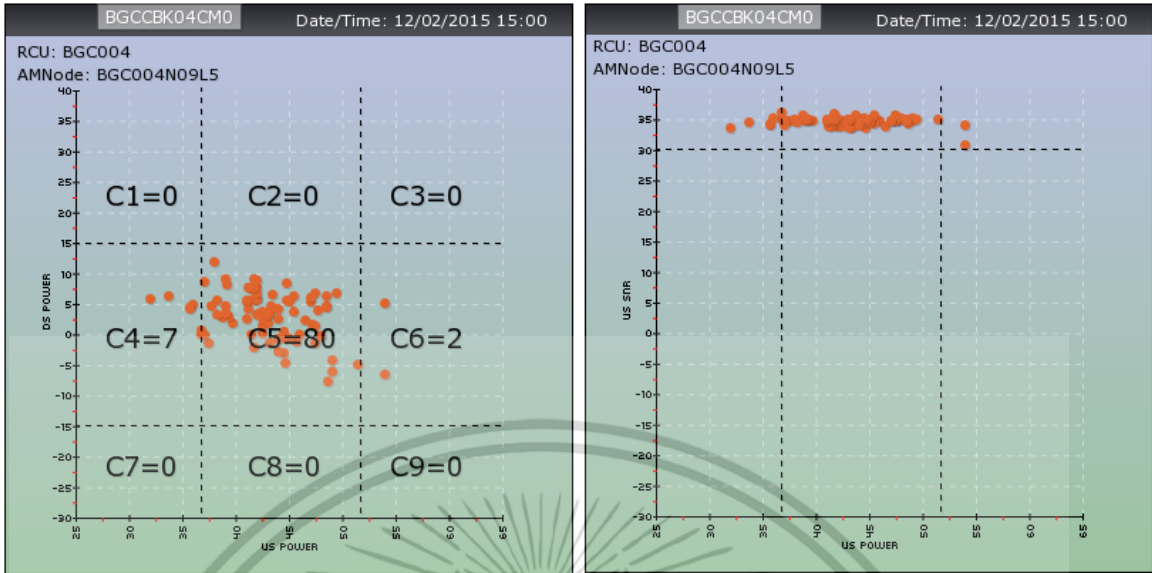


รูปที่ 5.18 ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของเคเบิลโมเด็มในออปติคอลโหนด BGC004 Node 8 (ซ้าย) แสดงกำลังส่งดาวนสตรีมและอัปสตรีมของเคเบิลโมเด็ม (ขวา) แสดงอัตราส่วนกำลังส่งอัปสตรีมต่อสัญญาณรบกวนของเคเบิลโมเด็ม

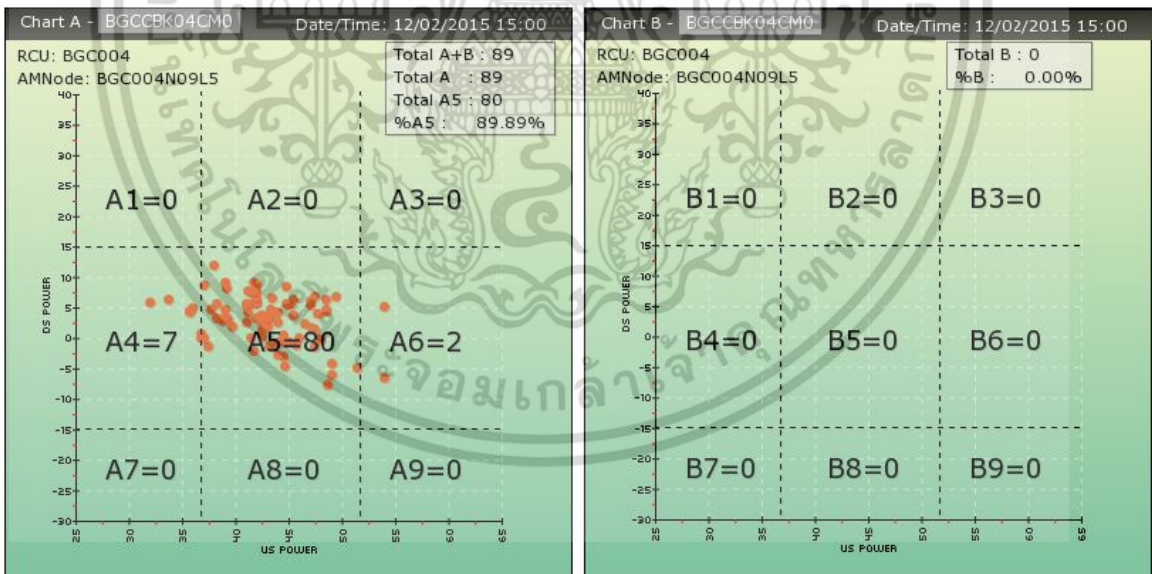


รูปที่ 5.19 พิจารณาตัวชี้วัดเครือข่าย A5 และ B ของออปติคอลโหนด BGC004 Node 8 (ซ้าย) แสดงจำนวนเคเบิลโมเด็ม ที่อยู่ภายในพื้นที่ A (ขวา) แสดงจำนวนเคเบิลโมเด็ม ที่อยู่ภายในพื้นที่ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

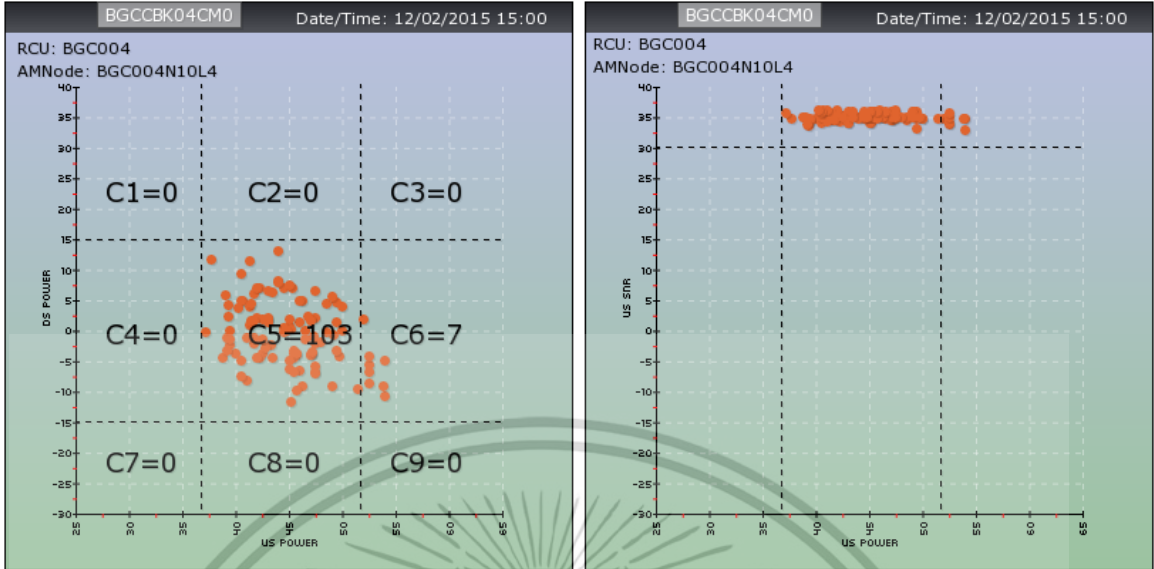


รูปที่ 5.20 ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของเคเบิลโมเด็มในออปติคอลโหนด BGC004 Node 9 (ซ้าย) แสดงกำลังส่งดาวนสตรีมและอัปสตรีมของเคเบิลโมเด็ม (ขวา) แสดงอัตราส่วนกำลังส่งอัปสตรีมต่อสัญญาณรบกวนของเคเบิลโมเด็ม

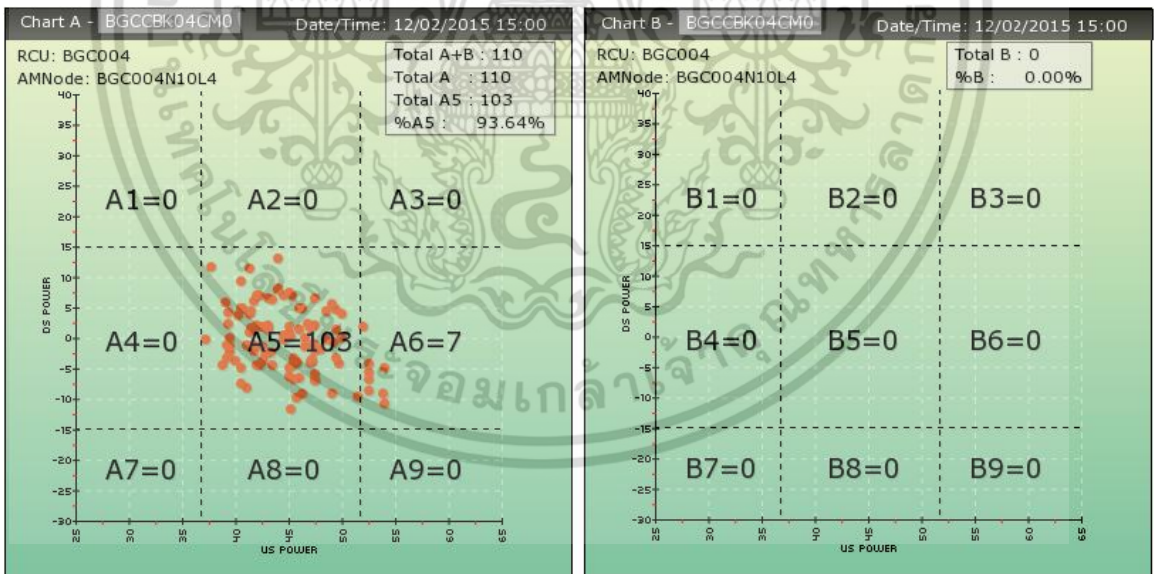


รูปที่ 5.21 พิจารณาตัวชี้วัดเครือข่าย A5 และ B ของออปติคอลโหนด BGC004 Node 9 (ซ้าย) แสดงจำนวนเคเบิลโมเด็ม ที่อยู่ภายในพื้นที่ A (ขวา) แสดงจำนวนเคเบิลโมเด็ม ที่อยู่ภายในพื้นที่ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.22 ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของเคเบิลโมเด็มในออปติคอลโหนด BGC004 Node 10 (ซ้าย) แสดงกำลังส่งดาวนสตรีมและอัปสตรีมของเคเบิลโมเด็ม (ขวา) แสดงอัตราส่วนกำลังส่งอัปสตรีมต่อสัญญาณรบกวนของเคเบิลโมเด็ม



รูปที่ 5.23 พิจารณาตัวชี้วัดเครือข่าย A5 และ B ของออปติคอลโหนด BGC004 Node 10 (ซ้าย) แสดงจำนวนเคเบิลโมเด็ม ที่อยู่ภายในพื้นที่ A (ขวา) แสดงจำนวนเคเบิลโมเด็ม ที่อยู่ภายในพื้นที่ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการพิจารณาการให้บริการเคเบิลโมเด็มผ่านเครือข่ายเฮชเอฟซี ในพื้นที่บางชั้นย่อยที่ 4 (BGC004) ในระดับออปติคอลโหนด ดังแสดงในแผนภาพ 2 มิติ ดังรูปที่ 5.4 ถึง รูปที่ 5.23 สามารถนำตัวชี้วัดเครือข่ายในแต่ละออปติคอลโหนด มาเปรียบเทียบกันได้ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ตัวชี้วัดเครือข่ายในพื้นที่บางชั้นย่อยที่ 4 (BGC04) ในระดับออปติคอลโหนด

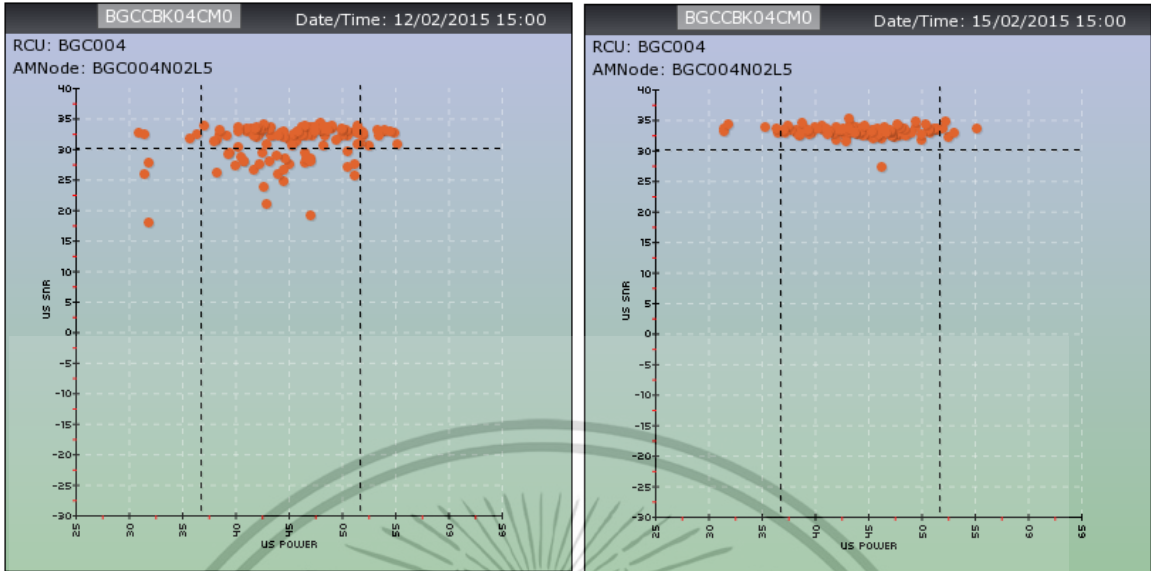
ขุมสายย่อย (RCU)	ออปติคอลโหนด (Optical Node)	จำนวนเคเบิลโมเด็ม (ที่เชื่อมต่อเครือข่าย)	จำนวนเคเบิลโมเด็ม (ในพื้นที่ A5)	จำนวนเคเบิลโมเด็ม (ในโซน B)	เปอร์เซ็นต์ A5	เปอร์เซ็นต์ B
BGC004	BGC004N01L4	112	101	2	90.18%	1.79%
BGC004	BGC004N02L5	131	87	32	66.41%	24.43%
BGC004	BGC004N03L4	93	85	0	91.40%	0.00%
BGC004	BGC004N04L6	100	83	5	83.00%	5.00%
BGC004	BGC004N05L7	105	91	0	86.67%	0.00%
BGC004	BGC004N06L2	55	54	0	98.18%	0.00%
BGC004	BGC004N07L1	139	114	5	82.01%	3.60%
BGC004	BGC004N08L8	-	-	-	-	-
BGC004	BGC004N09L5	89	80	0	89.89%	0.00%
BGC004	BGC004N10L4	110	103	0	93.64%	0.00%
		934	798	44	85.44%	4.71%

จากตารางที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบคุณภาพของเครือข่ายเฮชเอฟซี ด้วยตัวชี้วัดเครือข่าย A5 และ B ในแต่ละออปติคอลโหนด จำนวน 10 ออปติคอลโหนด โดยมีจำนวนออปติคอลโหนดที่ให้บริการเคเบิลโมเด็ม จำนวน 9 ออปติคอลโหนด และมี 1 ออปติคอลโหนด (BGC004N08L8) ที่ยังไม่เปิดให้บริการเคเบิลโมเด็ม

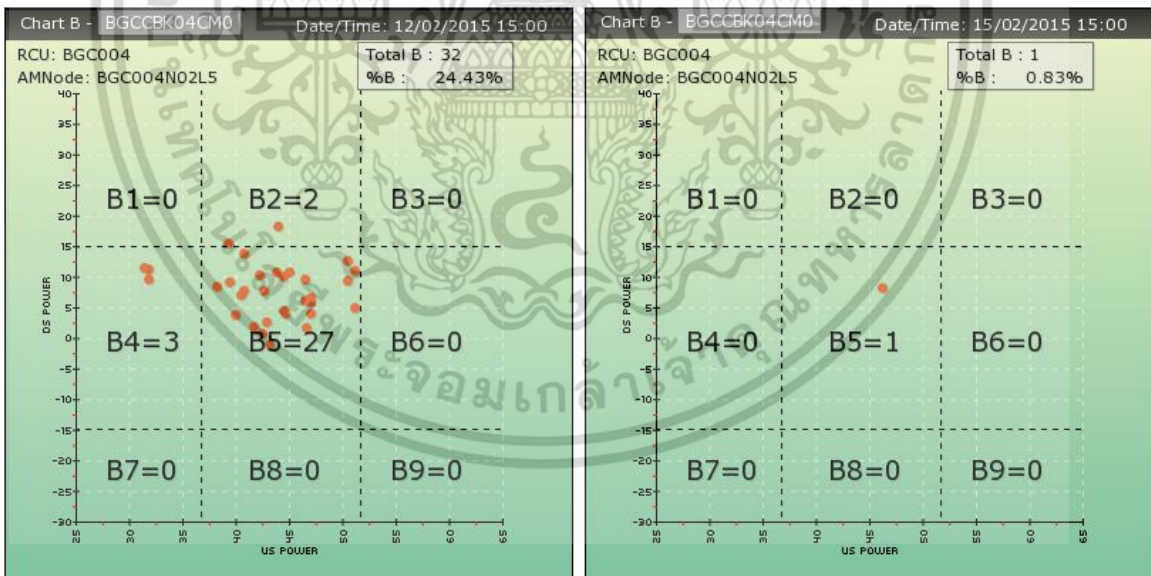
5.3.1 การวิเคราะห์ด้านสัญญาณรบกวน

เมื่อทำการเปรียบเทียบตัวชี้วัดเครือข่ายในแต่ละออปติคอลโหนด พบว่าออปติคอลโหนดบางชั้นย่อยที่ 4 โหนดที่ 2 (BGC004N02L5) จำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงโดยเร่งด่วน เนื่องจากมีค่าตัวชี้วัดเครือข่าย B สูงถึง 24.43 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการมีสัญญาณรบกวนเข้ามารบกวนและแทรกสอดภายในเครือข่ายเป็นจำนวนมาก และส่งผลให้ตัวชี้วัดเครือข่าย A5 มีค่าเท่ากับ 66.41 เปอร์เซ็นต์

เมื่อทำการตรวจสอบเครือข่ายเพื่อหาจุดบกพร่องที่ส่งผลให้สัญญาณรบกวนเข้ามาภายในเครือข่ายและทำการแก้ไข (fixed noise) จุดบกพร่องดังกล่าว เพื่อลดผลกระทบของสัญญาณรบกวนที่เข้ามาภายในเครือข่าย จากนั้นจึงทำการตรวจสอบปรับสมดุล (balance signal) ของกำลังส่งทั้งทางด้านดาวนสตรีมและอัพสตรีมที่อุปกรณ์ขยายสัญญาณแต่ละตัวให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม ส่งผลให้คุณภาพการให้บริการเคเบิลโมเด็มของออปติคอลโหนดบางชั้นย่อยที่ 4 โหนดที่ 2 มีคุณภาพทั้งทางด้านภูมิคุ้มกันต่อสัญญาณรบกวน และความสมดุลของกำลังส่งทั้งดาวนสตรีมและอัพสตรีมดีขึ้น ดังรูปที่ 5.24 – 5.26

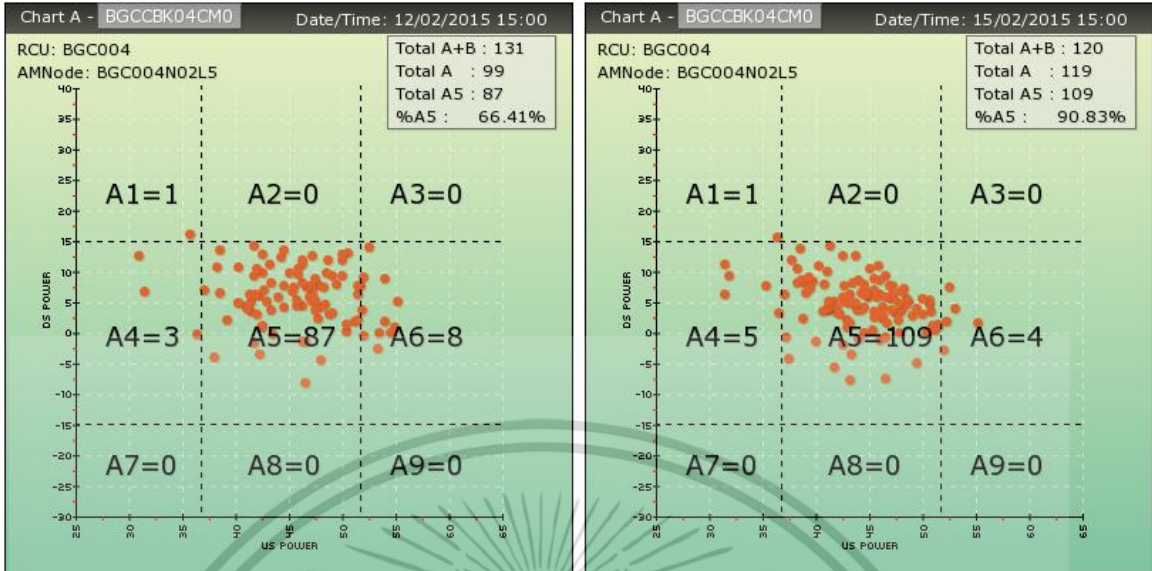


รูปที่ 5.24 เปรียบเทียบอัตราส่วนสัญญาณส่งอัสตรีมต่อสัญญาณรบกวนของ BGC004N02L5 (ซ้าย) อัตราส่วนสัญญาณส่งอัสตรีมต่อสัญญาณรบกวน ก่อนทำการปรับปรุงเครือข่าย (ขวา) อัตราส่วนสัญญาณส่งอัสตรีมต่อสัญญาณรบกวน หลังทำการปรับปรุงเครือข่าย



รูปที่ 5.25 เปรียบเทียบจำนวนเคเบิลโมเด็มในโซน B ของ BGC004N02L5 (ซ้าย) จำนวนเคเบิลโมเด็มในโซน B ก่อนทำการปรับปรุงเครือข่าย (ขวา) จำนวนเคเบิลโมเด็มในโซน B หลังทำการปรับปรุงเครือข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



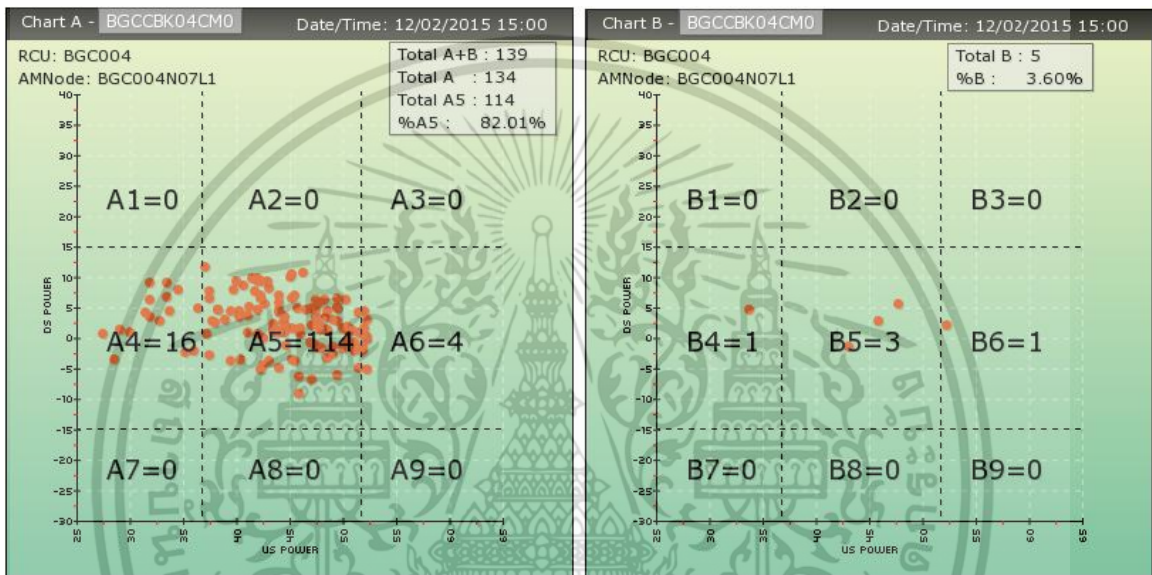
รูปที่ 5.26 เปรียบเทียบจำนวนเคเบิลโมเด็มในโซน A ของ BGC004N02L5 (ซ้าย) จำนวนเคเบิลโมเด็มในโซน A ก่อนทำการปรับปรุงเครือข่าย (ขวา) จำนวนเคเบิลโมเด็มในโซน A หลังทำการปรับปรุงเครือข่าย

หลังจากทำการปรับปรุงเครือข่ายทั้งในด้านของสัญญาณรบกวนที่เข้ามาภายในเครือข่าย และด้านของความสมดุลของกำลังส่งอพสตรีมและดาวนสตรีม ให้กับอปติคอลโหนดบางชั้นย่อยที่ 4 โหนดที่ 2 (BGC004N02L5) พบว่าค่าตัวชี้วัดเครือข่าย B ก่อนทำการปรับปรุงเครือข่ายมีค่าสูงถึง 24.43 เปอร์เซ็นต์ และหลังจากปรับปรุงเครือข่าย มีค่าลดลงเหลือ 0.83 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงภูมิคุ้มกันต่อสัญญาณรบกวนที่ดีขึ้น และเมื่อพิจารณาในแง่ของความสมดุลของกำลังส่งจากตัวชี้วัดเครือข่าย A5 พบว่าก่อนทำการปรับปรุงเครือข่ายมีค่าในระดับต่ำเท่ากับ 66.41 เปอร์เซ็นต์ และหลังจากปรับปรุงเครือข่าย มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเป็น 90.83 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการทำงานของอุปกรณ์ขยายสัญญาณภายในเครือข่ายได้ถูกปรับกำลังส่งทั้งดาวนสตรีมและอพสตรีมให้อยู่ในสมดุลตามเกณฑ์ที่กำหนด ส่งผลให้เคเบิลโมเด็มทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2 การวิเคราะห์ด้านความสมดุลของกำลังส่ง

จากตารางที่ 5.3 พิจารณาออปติคอลโหนดบางชั้นย่อยที่ 4 โหนดที่ 7 (BGC004N07L1) พบว่ามีตัวชี้วัดเครือข่าย B เท่ากับ 3.60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ (%B น้อยกว่า 5%) แต่เมื่อพิจารณาตัวชี้วัดเครือข่าย A5 พบว่ามีค่าเท่ากับ 82.01 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ (%A5 ควรสูงกว่า 85%) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงคุณภาพในด้านของความสมดุลของกำลังส่งทั้งทางด้านควมร้นสตรีมและอัปสตรีมที่ขาดความสมดุล ดังรูปที่ 5.27



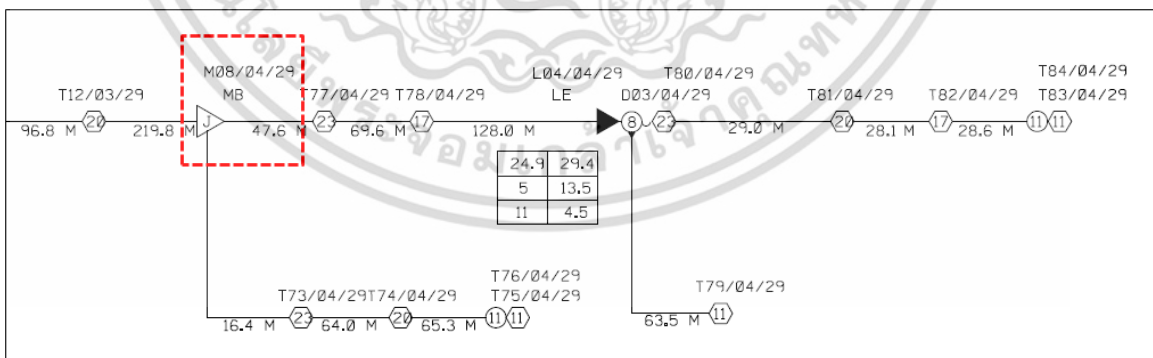
รูปที่ 5.27 พิจารณาความสมดุลด้านกำลังส่งของออปติคอลโหนด BGC004 Node 7

จากรูปที่ 5.27 จะพบว่ามีจำนวนเคเบิลโมเด็มเท่ากับ 16 โมเด็มตกอยู่ในพื้นที่ A4 หรือ มีค่าสูงถึง 11.51 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับจำนวนเคเบิลโมเด็มทั้งหมด ซึ่งเคเบิลโมเด็มกลุ่มนี้ มีการส่งกำลังงานของสัญญาณอัปสตรีมอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด คือต่ำกว่า 37 dBmV ซึ่งอาจส่งผลให้เคเบิลโมเด็มหลุดการเชื่อมต่อ หรืออาจส่งผลให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณอัปสตรีมต่อสัญญาณรบกวนมีค่าลดลง เมื่อมีสัญญาณรบกวนเข้ามาภายในเครือข่าย โดยค่ากำลังส่งอัปสตรีมของเคเบิลโมเด็มในพื้นที่ A4 ถูกแสดงดังในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ค่าพารามิเตอร์กำลังส่งอพัสตรึมของเคเบิลโมเด็มในพื้นที่ A4
ภายในออปติคอลลโหนดBGC004N07L1

Optical Node Name	No.	Cable Modem (mac-address)	Cable Modem (Circuit ID)	Upstream Power (dBmV)
BGC004N07L1 (A4 area)	1	08:80:39:e1:ed:6e	9101186148	36.00
	2	cc:4e:ec:a8:37:6e	9101452028	35.20
	3	b0:c2:87:2e:df:38	9100267000	34.50
	4	6c:b5:6b:b7:09:76	9101241610	29.00
	5	88:f7:c7:84:15:42	9100349561	33.80
	6	b0:c2:87:4c:21:02	9101291152	27.50
	7	08:95:2a:66:4c:f6	9101371511	30.00
	8	88:f7:c7:15:9c:b4	9100860339	28.50
	9	24:76:7d:16:19:e4	9100926893	36.40
	10	08:95:2a:1f:00:e5	9101294731	31.80
	11	6c:b5:6b:b7:18:2e	9101238672	31.50
	12	08:95:2a:1e:cb:00	9100689779	31.80
	13	80:c6:ab:77:b2:d5	9100469940	31.90
	14	88:f7:c7:1a:97:00	9100918816	32.80
	15	b0:c2:87:14:ef:d2	9101128474	33.50
	16	b0:c2:87:ac:6a:35	9100324412	33.50

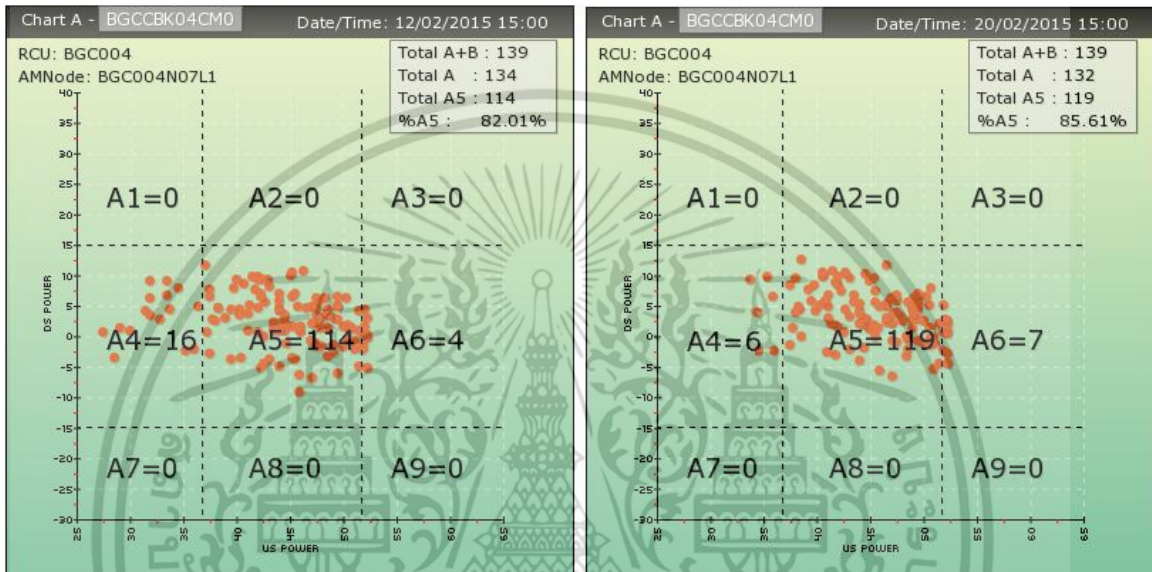
จากตารางที่ 5.4 เคเบิลโมเด็มที่อยู่ภายในพื้นที่ A4 ซึ่งมีค่ากำลังส่งอพัสตรึมต่ำกว่า 37 dBmV ควรได้รับการปรับปรุงแก้ไขด้านกำลังส่งอพัสตรึมให้มีค่าสูงกว่า 37 dBmV และอยู่ภายในพื้นที่ A5 ซึ่งเมื่อทำการตรวจสอบจากระบบฐานข้อมูล พบว่าเคเบิลโมเด็มกลุ่มดังกล่าวอยู่ภายใต้อุปกรณ์ขยายสัญญาณแบบหลายทิศทาง (mini bridger) ตัวเดียวกัน คือ M08/04/29 ดังแสดงในรูปที่ 5.28



รูปที่ 5.28 เครือข่ายเอชเอฟซีในส่วนที่เคเบิลโมเด็มมีค่าสัญญาณอพัสตรึมอยู่ในพื้นที่ A4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากทำการปรับสมดุลของกำลังงานหรือบาลานซ์สัญญาณอัปสตรีมที่อุปกรณ์ขยายสัญญาณ M08/04/29 พบว่าเคเบิลโมเด็มที่อยู่ภายในพื้นที่ A4 ซึ่งมีกำลังส่งอัปสตรีมต่ำกว่า 37 dBmV มีจำนวนลดลง โดยเคเบิลโมเด็มบางส่วนมีค่ากำลังส่งอัปสตรีมที่สูงขึ้น และย้ายเข้าไปอยู่ในพื้นที่ A5 ส่งผลให้ค่าตัวชี้วัดเครือข่าย A5 ของออปติคัลโหนดบางชั้นย่อยที่ 4 โหนดที่ 7 (BGC004N07L1) มีค่าสูงขึ้นจาก 82.01 เปอร์เซ็นต์ เป็น 85.61 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 5.29



รูปที่ 5.29 เปรียบเทียบตัวชี้วัดเครือข่าย A5 ของออปติคัลโหนด BGC004N07L1

(ซ้าย) จำนวนเคเบิลโมเด็มในพื้นที่ A5 ก่อนทำการปรับปรุงพื้นที่ A4

(ขวา) จำนวนเคเบิลโมเด็มในพื้นที่ A5 หลังทำการปรับปรุงพื้นที่ A4

โดยเคเบิลโมเด็มที่ตกอยู่ในแต่ละพื้นที่ของโซน A สามารถพิจารณาและทำการแก้ไขได้ดังนี้
เคเบิลโมเด็มที่อยู่ในพื้นที่ A1 ควรใช้ตัวลดทอนสัญญาณ (Attenuator) ติดตั้งที่หน้าตัวแยกสัญญาณแท็ปออฟ (Tap-off) เพื่อลดความแรงของสัญญาณดาวนสตรีม และเพิ่มความแรงของสัญญาณอัปสตรีม

เคเบิลโมเด็มที่อยู่ในพื้นที่ A2 กรณีที่เคเบิลโมเด็มส่วนใหญ่ในออปติคัลโหนด อยู่ในพื้นที่ A2 ควรตรวจสอบระดับกำลังส่งดาวนสตรีมที่อุปกรณ์ปลายทางของเคเบิลโมเด็มหรือซีเอ็มทีเอส (CMTS) ว่ามีระดับที่สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่ หรือถ้าเคเบิลโมเด็มบางกลุ่มอยู่ในพื้นที่ A2 ให้ตรวจสอบการบาลานซ์ (balance) ระดับสัญญาณดาวนสตรีมของอุปกรณ์ขยายสัญญาณในออปติคัลโหนดนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคเบิลโมเด็มที่อยู่ในพื้นที่ A3 และ A6 ซึ่งเกิดขึ้นจากระดับกำลังส่งอพสตรีมมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือ 52 dBmV ดังนั้นควรตรวจสอบการบาลานซ์สัญญาณอพสตรีมที่อุปกรณ์ขยายสัญญาณในออปติคอลโหนดนั้น

เคเบิลโมเด็มที่อยู่ในพื้นที่ A4 ซึ่งเกิดขึ้นจากระดับกำลังส่งอพสตรีมมีค่าต่ำ ควรตรวจสอบการบาลานซ์สัญญาณอพสตรีมที่อุปกรณ์ขยายสัญญาณในออปติคอลโหนดนั้น

เคเบิลโมเด็มที่อยู่ในพื้นที่ A6 และ A9 ซึ่งเกิดขึ้นจากสายนำสัญญาณทรอปเคเบิล (dropped cable) มีระยะยาว ควรทำการแก้ไขโดยเปลี่ยนสายนำสัญญาณจากชนิด RG-6 เป็น RG-11 หรือทำการขยายโครงข่ายเฮชเอฟซีให้เข้าถึงผู้ใช้บริการมากขึ้น

5.4 สรุป

วิทยานิพนธ์ในบทนี้ได้อธิบายถึงกระบวนการเก็บข้อมูลค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณตัวชี้วัดเครือข่ายผ่านอุปกรณ์ปลายทางเคเบิลโมเด็มหรือซีเอ็มทีเอส (CMTS) มาเก็บไว้ที่ระบบฐานข้อมูล, วิธีการคำนวณตัวชี้วัดเครือข่าย และกระบวนการวิเคราะห์คุณภาพเครือข่ายเฮชเอฟซี (HFC network) ทั้งในระดับออปติคอลโหนด และในระดับที่สูงกว่า โดยข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงเครือข่ายเฮชเอฟซี ทั้งในด้านของภูมิคุ้มกันต่อสัญญาณรบกวนที่เข้ามาภายในเครือข่าย และในด้านของความสมดุลของกำลังงานทั้งทางด้านความถี่และอพสตรีม ซึ่งส่งผลกระทบต่อการใช้งานให้บริการเคเบิลโมเด็มที่มีประสิทธิภาพ

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิเคราะห์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอระบบวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายเฮชเอฟซีจริง (HFC Network) ในระดับออปติคอลโหนด (Optical Node) และระดับที่สูงกว่า โดยใช้ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ 3 ค่า ที่ได้จากอุปกรณ์ปลายทางของเคเบิลโมเด็ม (CMTS) และจากเคเบิลโมเด็ม (Cable Modem) ซึ่งสื่อสารกันผ่านเครือข่ายเฮชเอฟซีในแต่ละออปติคอลโหนด โดยข้อมูลค่าพารามิเตอร์ที่ได้ ถูกนำมาวิเคราะห์ในรูปแบบกราฟ 3 มิติ ที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเครือข่ายในแง่ของความสัมพันธ์ของระดับกำลังส่งสัญญาณดาวนสตรีมและสัญญาณอัพสตรีมในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ A5 และยังสามารถใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครือข่ายในแง่ของการเข้ามาของสัญญาณรบกวน ซึ่งแสดงในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ B โดยวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการที่มีค่าใช้จ่ายต่ำและแสดงผลได้รวดเร็ว สามารถใช้ผลจากการวิเคราะห์ข้างต้นเป็นดัชนีในการจัดลำดับความสำคัญ ในการตรวจสอบและบำรุงรักษาเครือข่ายที่ให้บริการในเชิงรุกต่อไป

6.2 ข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่าย HFC จากรูปแบบกราฟ 3 มิติ ที่เกิดขึ้นจากพารามิเตอร์ที่สำคัญ 3 พารามิเตอร์ เป็นหนึ่งในแนวทางที่สะดวกและรวดเร็วสำหรับใช้ชี้วัดคุณภาพการให้บริการผ่านเครือข่าย HFC ในเบื้องต้น แต่ในการให้บริการเคเบิลโมเด็มนั้น การวิเคราะห์คุณภาพการให้บริการในเชิงลึกจะช่วยให้สามารถตรวจสอบคุณภาพของเครือข่ายได้อย่างถูกต้อง ส่งผลให้เครือข่ายมีเสถียรภาพในการให้บริการ ดังนั้นเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาตัวชี้วัดคุณภาพของเครือข่าย HFC ควรพิจารณาค่าพารามิเตอร์ตัวอื่นๆ เพิ่มเติม อาทิ พิจารณาในแง่ของความถูกต้องของรหัสข้อมูลที่ส่ง (Codeword Error), ระยะเวลาที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ปลายทางของเคเบิลโมเด็ม (CMTS) และเคเบิลโมเด็ม และค่าอัตราส่วนสัญญาณดาวนสตรีมต่อสัญญาณรบกวน เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Data-Over-Cable Service Interface Specifications Radio Frequency Interface Specification CM-SP-RFiv1.1-C01-05097, September, 2005.
- [2] John W. Eng and Jame F. Mollenauer, "IEEE Project 802.14: Standards for Digital Convergence," IEEE Communications Magazine, Vol. 33, No. 5, pp. 20-23, May, 1995.
- [3] IEEE, "IEEE project 802.14/a Draft 2 Revision 2: Cable-TV Access Method and Physical Layer Specification (status: interim)," July, 1977
- [4] IEEE, "IEEE project 802.14/a Draft 3 Revision 1: Cable-TV Access Method and Physical Layer Specification (status: interim)," April, 1998
- [5] Li Zhang, Yong-ta Ma, Kai-hua Liu, Yuan Zeng, "Research of the Noise Characteristic on the Upstream Channel for HFC Network" 2010 IEEE ICSPS V2:426-430
- [6] J. Lambert, B. Van Houdt and C. Blondia, "Queues in DOCSIS cable modem networks," Computer & Operations Research, Vol.35, pp. 2482-2496, August, 2007.
- [7] L. Wei-Tsong, CH. Kun-Chen, CH. Kuo-Chih and P. Jen-Yi "DOCSIS performance analysis under high traffic conditions in the HFC network," IEEE transactions on broadcasting, Vol.52, No.1, pp. 21-30, 2006.
- [8] ชัยวัฒน์ ภาวะโสภณ 2553. "การวิเคราะห์อัลกอริธึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มสำหรับเครือข่าย DOCSIS เคเบิลโมเด็ม" วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [9] กฤดากร กล่อมการ, "การสื่อสารข้อมูล," กรุงเทพฯ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545.

ภาคผนวก



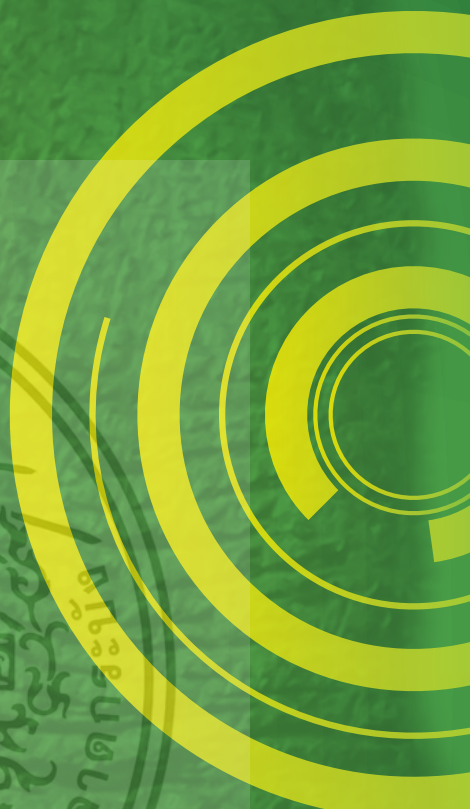
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



JICTEE 2014

The Forth Joint International Conference on Information and Communication Technology, Electronic and Electrical Engineering

March 5-8, 2014, Chiang Rai, Thailand



เป็นสถาบันเป็นเอกลักษณ์ที่สวามิภักดิ์ในวิชาชีพและวิชาการเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนไปอย่างภาคภูมิใจ
การบริการที่ดี ทั้งสิ้น บริการที่รวดเร็วและดีเยี่ยม เนื้อหา และคดียิ่งถึงเจ้าของเอกลักษณ์ของเรา

JICTEE
2014

HFC Network Performance Monitoring System using DOCSIS Cable Modem Operation Data in a 3 Dimensional Analysis

Teerawat Benhavan , Kraisin Songwatana

†Department of Telecommunication Engineering

Faculty of Engineering, King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang (KMITL) Bangkok, Thailand

Teerawat.ben@hotmail.com, Kraisin@telecom.kmitl.ac.th

Abstract—This paper investigates the HFC network performance system following DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specifications) standard. The parameters in the forward path and return path are collected from CMTS (Cable Modem Termination System) which communicate with the cable modem and used to analyze the network performance in a 3-dimensional graph.

The result provides a 3-D diagram which is a tool to analyse the network performance base on network criteria. The parameters obtained from each block in 3D space represents the state of the network. It shows the symptom that the network is suffering. The resulting measures can be used key performance indices for the network.

I. INTRODUCTION

Network operators are highly concerned on the quality of the network. The growing of data services: the Internet, e-mail, voice telephony and others, results in higher demand for bandwidth on publicly networks. Much attention is being paid to Hybrid Fiber Coaxial (HFC) networks because of their high penetration level, high available capacity, and good linearity for data interactive services. The quality of the HFC network is important for the service performance [1].

In this paper, we propose a 3-dimensional analysis on the quality of the actual HFC network. The relationship of the three key parameters, from the communication channels between Cable Modem Termination System (CMTS) and Cable Modem (CM) consists of Downstream Power (DS-Power), Upstream Power (US-Power) and Upstream signal to noise ratio (US-SNR). They are plotted on the 3 dimension diagram, to visualize and for analyse the quality of the actual HFC network in each node or each area of service.

The result of such analysis is very useful in monitoring, improving and proactive maintenance of HFC network.

II. HFC NETWORK ARCHITECTURE

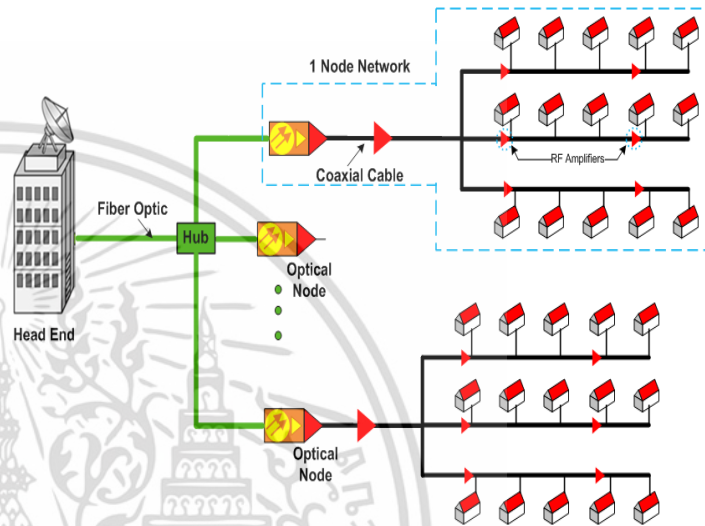


Figure 1. The structure of HFC Network.

HFC network is developed from traditional cable TV network , which is a combination of fiber optic network and coaxial cable network as in Figure 1. HFC network typically consists of Headend, CMTS, optical transmitters and receivers, optical fiber and fiber nodes, coaxial cable, amplifiers and RF taps. CMTS is located in the headend, where the TV signals and data streams are combined. The combined signal is pumped out optically to the fiber nodes when the signal is converted into RF and feed into coaxial network. The tree structure coaxial network, with amplifiers, feeds the signals to cable modems in subscribers home. The return signals are bidirectional frequency multiplexed onto the coaxial network, back to the node and convert into optical signal back to the CMTS in the headend [2].

The high speed digital data service system and active devices over the HFC network are standardize by DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specifications) [3].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

III. COMMUNICATION IN HFC NETWORKS AND KEY PARAMETERS.

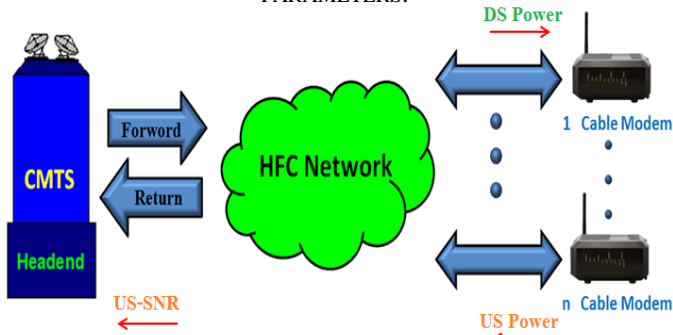


Figure 2. Bidirectional communications in HFC network.

The 2 way communication over HFC network is between the CMTS and Cable Modem (CM). Forward or downstream signal (65-1000 MHz), is transmitted from the Head-end to the home user (cable modem) and return or upstream signal (5-50 MHz) carrier data from the home user (cable modem) back to the Head-end, as shown in Figure 2.

An example of three network designed parameters that can be used in determining the service performance of the HFC network are shown in Table I.

Parameter	Level
Downstream Power	-15 to +15 dBmV
Upstream Power	37 to 52 dBmV
Upstream SNR	> 30 dB

Table I. Network designed parameters in some HFC network under study [4].

A. Downstream Power (DS-Power)

This is the amount of signal received by the cable modem that send from the transmitter in the cable head-end and from CMTS. DS-Power for most modems are rated from -15 dBmV to +15 dBmV, when 0 dBmV is the optimal level. Anything less or more than that and the network may lead to quality issues.

B. Upstream Power (US-Power)

This is the amount of signal transmitted by the cable modem to reach the receiver in the cable company head-end or CMTS. Upstream signal level range depends on the modulation : +8 to +58 dBmV maximum for QPSK. (DOCSIS 1.x)

+8 to +55 dBmV maximum for 8 QAM and 16 QAM. (DOCSIS 1.x)

+8 to +54 dBmV maximum for 32 QAM and 64 QAM. (A-TDMA DOCSIS 2.0)

+8 to +53 dBmV maximum for S-CDMA DOCSIS 2.0 modulation rates.

Recommended upstream signal levels are +37 to +52 dBmV for the network under study.

A cable modem running a higher upstream modulation rate may downgrade itself to a lower modulation rate (i.e. 64 QAM to 16 QAM or 16 QAM to QPSK) if the upstream transmit level is higher than the maximum signal level allowed for the higher modulation rate and the CMTS is configured to allow such a change. This downgrade can cause slow speed, packet loss, and connection loss issues depending on the condition of the upstream channel.

C. Upstream Signal to Noise Ratio (US-SNR)

Upstream SNR levels are read at the CMTS on the upstream data channel, not the cable modem. US-SNR is best over 30 dB, there is no upper US-SNR limit. Anything less than 30 dB have been shown to have high noise interference in network, it will cause dropped connections, packet loss and slow data transfers.

3 key parameters are related. as shown in Figure 3.

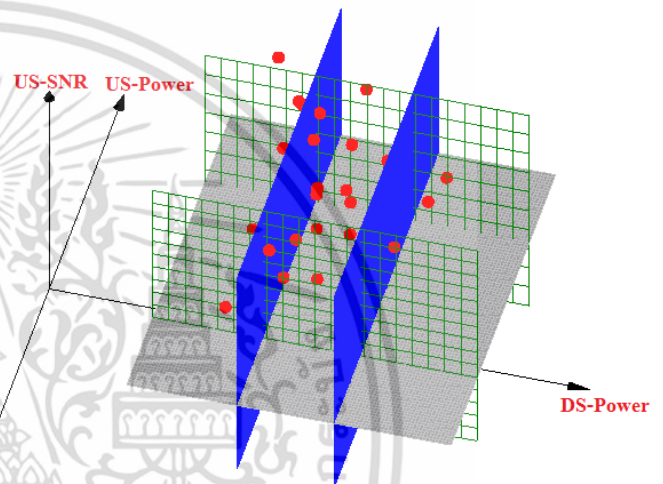


Figure 3(a). 3-D visualization of DS-Power , US-Power and US-SNR

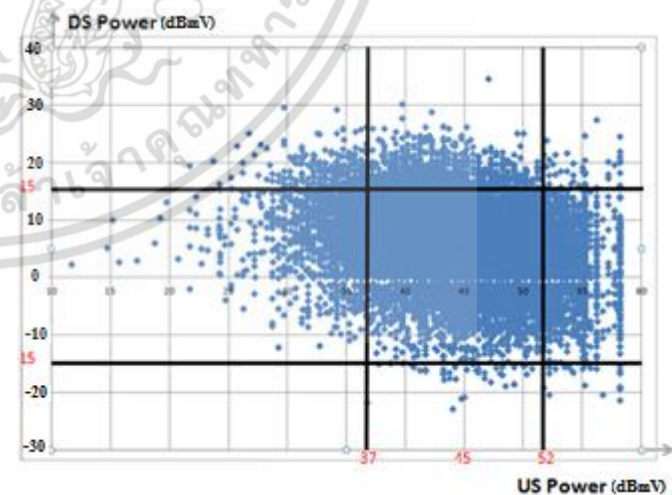


Figure 3(b). The projection of 3(a) onto DS-Power and US-Power plane.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

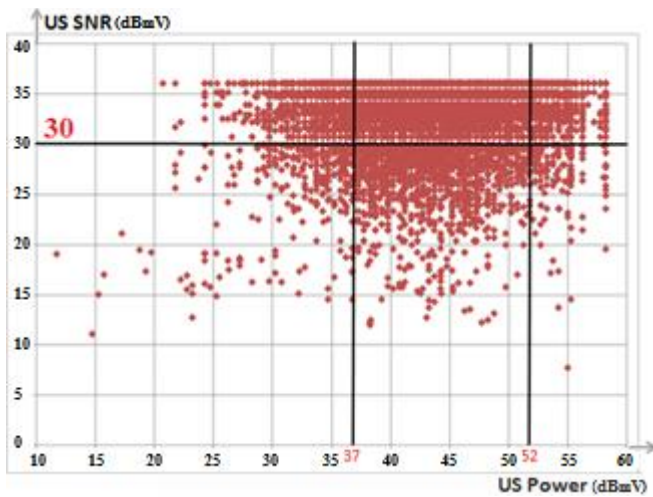


Figure 3(c). The projection of 3(a) onto US-Power and US-SNR plane.

Each point on the 3-D graph represents the state of modem. Each modem, has the reported DS-Power, US-Power and US-SNR as coordinates. The 3-dimensional graph is then divided into regions, using the network designed parameters as in Table I.

IV. PROCEDURE TO ANALYZE THE PERFORMANCE OF HFC NETWORK AND A5 ZONE

To analyze the performance of the HFC network, the first step we use US-SNR from each cable modem to divide data into two zones, are A zone has US-SNR ≥ 30 dB and B zone has US-SNR < 30 dB as shown in Figure 4.

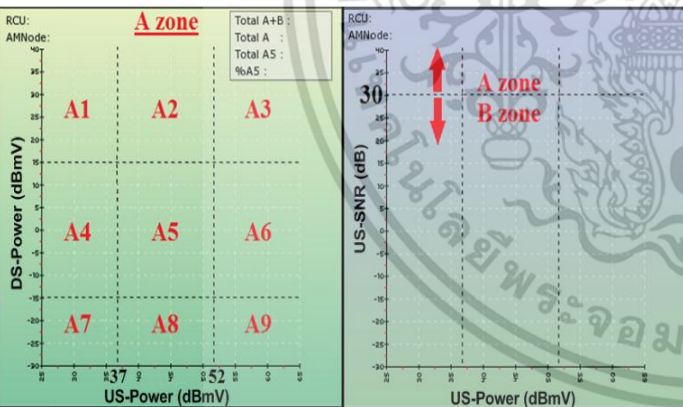


Figure 4. (left) A zone: US SNR ≥ 30 dB. (right) US-SNR divide into A and B zone.

A zone is a zone that cable modem in the HFC network with return US-SNR more than 30 dB. In the A zone, the modem has good SNR on its communication channel.

B zone is the zone that show return path (low frequency 5-65 MHz) with high noise in the HFC network. The resulting upstream signal to noise ratio (US-SNR) is less than

30 dB. Modem in this zone may suffer from noise and interference in the communication channel.

The US-Power parameters in the range of +37 to +52 dBmV and DS-Power in the range of -15 to +15 dBmV further divide A zone into 9 areas as shown in Figure 4.

A5 in A zone is an area which the communication between the CMTS and cable modem has the US-SNR more than 30 dB and the signal strength of the upstream and downstream are in the appropriate level of HFC network criteria. A5 is indicates the performance of the modem are acceptable and in the best condition.

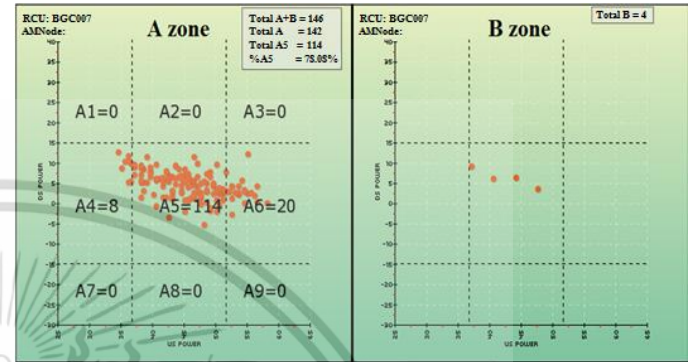


Figure 5. HFC Network Analysis via Grading System.

Figure 5 shows the analysis of performance of the HFC network in one node. Under one optical node, there is in operation about 146 cable modems and with 114 cable modem are in A5 area. Where the key parameters (US-Power, DS-Power and US-SNR) are within the HFC network criteria.

We can then evaluate the performance of the HFC network in such nodes using percent of the number of cable modem in the A5 area from the equation

$$\text{Acceptable of cable modem} = \frac{\text{number of Cable modem in A5} \times 100\%}{\text{Total Cable modem}} \quad (1)$$

$$\text{Which is } \% A5 = \frac{114}{146} \times 100\% = 78.08 \%$$

If percentage of A5 on each optical node are high, it will indicate a good performance of the HFC network. Percentage of A5 should be more than 80% for a fair network.

The %A5 provides a number that reflect the network performance from the 3 physical parameters. It can be used to compare area of operation from one to another, to prioritize them to find out the best nodes and the worst nodes.

We can do the same for modems with low US-SNR. These modems are located in the B zone, when US-SNR < 30 dB. By counting the modems in B zone and divided by the total modems. %B gives us a number to indicate if a node is having noise problem.

$$\text{Refused of cable modem} = \frac{\text{number of Cable modem in B zone} \times 100\%}{\text{Total Cable modem}} \quad (2)$$

$$\text{Which is } \% B = \frac{4}{146} \times 100\% = 2.74 \%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

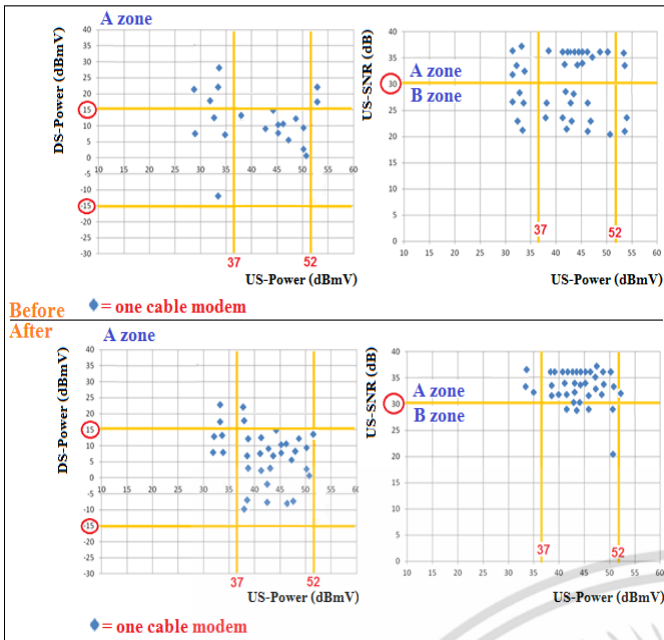


Figure 6. (top): before adjust the network
 B zone= 47.5% , A5 = 25%
 (bottom): after adjust the network
 B zone = 12.5% , A5 = 65%

Figure 6. shows an example of performance state of one node network before and after the network has been adjusted. The percentage of B zone decreases and percentage of A5 increasing.

While A5 is the region which indicate modem are working in the acceptable criteria, and modem in B suffers from noise in the return path, high percentage of modem in other areas also indicates different symptoms.

- A1: high DS-Power and low US-Power usually indicate short drop wire conditions.
- A2: high DS-Power indicates downstream network out of balanced.
- A3: both DS-Power and US-Power are too high indicate network out of balanced.
- A4: US-Power is too low indicates the return path may have too high gain.
- A6: US-Power is too high, there is a high loss in the return network. It can be both optical fiber or amplifier problems.
- A7 and A8: DS-Power is too low indicates network out of balanced.
- A9: US-Power is high, DS-Power is low can mean network is having long drop cable or out balanced.

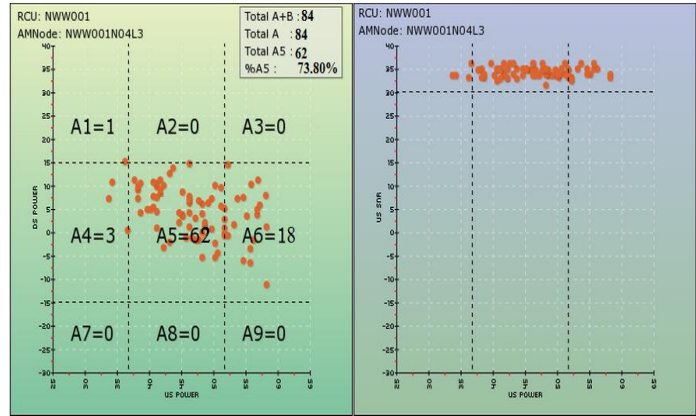


Figure 7. An example of high UP-Power in A6 area.

As is shown in Figure 7, we can see a example of one optical node, there is in operation about 84 cable modems and with 62 modem are in A5 area (A5 are 73.80 %) and having US-SNR more than 30 dB. But some of them have US-Power more than 52 dBmV. Considered in the A6 area we will be found there are many modem are in this area, percentage of A6 are 21.43% is too high for this optical node.

In A6, US-Power level is too high. It may cause problems due to high loss in the return path. High loss can be a result of wrong balancing of the return path, return amplifier is having problems, drop cables are long or bad coaxial cables. Modem will having to boost its signal to send back to the CMTS. If the cable modems output power reaches the maximum, and cannot be further increased to compensate for the loss, it will reboot itself. This result is frequent disconnection and restart of the modem, leading to bad services.

No.	AM Node Name	Total of Modem (number of A+B)	Total A5	Total B	% A5	% B
1	ONT001N01	74	63	0	85.14%	0.00%
2	ONT001N02	39	30	0	76.92%	0.00%
3	ONT001N03	88	75	0	85.23%	0.00%
4	ONT001N04	95	83	0	87.37%	0.00%
5	ONT001N05	101	68	0	67.33%	0.00%
6	ONT001N06	50	35	3	70.00%	6.00%
7	ONT001N07	107	85	0	79.44%	0.00%
8	ONT001N08	48	24	6	50.00%	12.50%
9	ONT001N09	45	44	0	97.78%	0.00%
10	ONT001N10	149	128	0	85.91%	0.00%
		796	Average		78.51%	1.85%

Table II. Optical nodes analysing the performance of service area using the proposed method.

Table II. Show 10 optical nodes (AM node) in an area, ONT. Each area are analyzed using cable modem operation data method. Each node has 2 performances parameters %A5 and %B. Good nodes will have high %A5 ($\geq 80\%$) and low %B ($\leq 10\%$). There are 5 acceptable nodes and 5 unacceptable nodes. The worst one is ONT001N08 node (%A5 = 50, %B = 12.5). The unacceptable nodes need to be visited for further pro-active maintenance work.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V. CONCLUSION

This paper presents a system for performance analysis of the actual HFC network in optical nodes level and higher level. Using the operation data from the CMTS and all cable modems in each optical node. We can quantify the performance of the HFC network for each node. By using the CMTS and cable modem data from the whole network, % A5 and %B provide key network quality. Such methods are low-cost and fast. We can use the results indices for the network to prioritize the maintenance process of the network operation.

REFERENCES

- [1] Li Zhang, Yong-tao Ma, Kai-hua Liu, Yuan Zeng, "Research of the Noise Characteristic on the Upstream Channel for HFC Network" 2010 IEEE ICSPS V2:426-430
- [2] Walter S. Ciciora, Ph. D, "THE HISTORY OF MODERN CABLE TELEVISION TECHNOLOGY" IEEE Fellow Consultant Southport, CT 06890 USA,
- [3] Radio Frequency Interface Specification, DOCSIS Interim Specification for Data Over Cable Service Interface, March 21, 1997.
- [4] Data-over-Cable Service Interface Specifications (DOCSIS) World Wide Web: www.cisco.com/en/us



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายธีรวัต เบ็ญฮาวัน
วัน เดือน ปีเกิด 23 กุมภาพันธ์ 2531 ที่จังหวัดยะลา
ที่อยู่ 50 ซอย 2 คลองเตย ตำบลคองหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110
ประวัติการศึกษา 2553 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน 1.) ระบบโทรคมนาคม
2.) เครือข่าย HFC (Hybrid Fiber Coaxial network)
3.) เครือข่ายใยแก้วนำแสง (GPON)
ประสบการณ์การทำงาน
พ.ศ.2553-2559 ตำแหน่งวิศวกรอาวุโส สายงานวิศวกรรมโทรคมนาคม
บริษัท โทร ยูนิเวอร์แซล คอมนิวส์ จำกัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้